

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



TESIS

**CLOROFILA, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ EN
RESPUESTA AL PACLOBUTRAZOL APLICADO HASTA EN
TRES ETAPAS FENOLÓGICAS**

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

**PRESENTA
GLORIA HERNÁNDEZ VALDÉS**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA**

**CO-DIRECTORA DE TESIS
DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ**

CULIACAN, SINALOA, ENERO DE 2011

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

MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

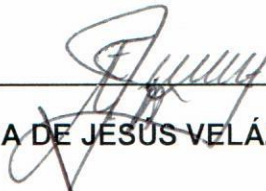
CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



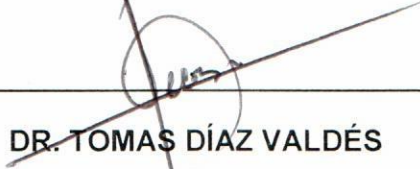
DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA

CO-DIRECTORA



DRA. TERESA DE JESÚS VELÁZQUEZ ALCARAZ

ASESOR



DR. TOMÁS DÍAZ VALDÉS

ASESOR



M.C. MARINO VALENZUELA LÓPEZ

CULIACÁN, SINALOA, ENERO DE 2011

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Benjamín Hernández Carrillo y Herlinda Valdez Martínez, quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor. 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

Melida, Ana Luz, Salvador, Karely y Gelen, por apoyarme con sus palabras de aliento a seguir culminando un logro más en mi preparación profesional.

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.

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.

A la Dra. Soila Maribel Gaxiola Camacho, Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba, M.C. José Sinhué Acosta Quintero, por todos los apoyos que me proporcionaron durante mis estudios de la Maestría en Ciencias Agropecuarias.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS -----	i
ÍNDICE DE FIGURAS -----	ii
RESUMEN -----	iii
ABSTRACT -----	iv
I. INTRODUCCIÓN -----	1
II. PROBLEMA -----	3
III. OBJETIVO -----	3
IV. HIPÓTESIS -----	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA -----	4
5.1. Grupos de retardantes del crecimiento de plantas -----	4
5.2. Mecanismo de acción de los retardantes de crecimiento en plantas	4
5.3. Efecto de los retardantes de crecimiento en la altura de plantas -----	6
5.4. Efectos que ocasionan los retardantes de crecimiento en el diámetro de tallo -----	9
5.5. Efectos que producen los retardantes de crecimiento en la floración	10
5.6. Efectos que ocasiona el paclobutrazol en cereales -----	12
5.7. Número, tamaño y contenido de cloroplastos en células de hojas maduras -----	13
5.8. Historia y origen del maíz -----	13
5.9. Importancia económica -----	14

	Página
5.10. Partes componentes de la semilla de maíz -----	15
5.11. Concepto de semilla -----	15
5.12. Algunas características de la planta de maíz -----	16
5.13. Filotaxia -----	19
VI. MATERIALES Y MÉTODOS -----	21
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	24
VIII. CONCLUSIONES -----	36
IX. LITERATURA CITADA -----	37
ANEXO. ARTÍCULO CIENTÍFICO -----	46

ÍNDICE DE CUADROS

	Página	
Cuadro 1	Concentración de clorofila en plantas de maíz cultivar 'Puma' tratado con paclobutrazol en las etapas fenológicas de cuatro, seis y ocho hojas verdaderas. Ciclo agrícola 2008-2009 -----	25
Cuadro 2	Promedios de altura, diámetro de tallos, longitud y anchura de hojas de plantas de maíz cv 'Puma' tratada con paclobutrazol, ciclo agrícola 2008-2009 -----	27
Cuadro 3	Peso, volumen y rendimiento de grano del cultivar 'Puma'. Ciclo agrícola 2008-2009 -----	29
Cuadro 4	Contenido de clorofila de tres cultivares tratados con PBZ. Ciclo agrícola 2009-2010 -----	30
Cuadro 5	Altura de plantas de tres cultivares de maíz tratado con paclobutrazol en etapas de cuatro, seis y ocho hojas verdaderas en el cultivar 'Puma', y en la de cuatro para '30P49' y 'DK2020'. Ciclo agrícola 2009-2010 -----	31
Cuadro 6	Peso seco de raíces y de la parte aérea de plantas de maíz cultivadas en macetas, y tratadas con PBZ en la etapa de seis hojas verdaderas. Ciclo agrícola 2009-2010 -----	32
Cuadro 7	Longitud y anchura de hojas en tres cultivares de maíz. Ciclo agrícola 2009-2010-----	33
Cuadro 8	Contenido de proteína (%) del grano del cultivar 'Puma' y rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de grano de tres cultivares de maíz. Ciclo agrícola 2009-2010 -----	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página	
Figura 1	Grano dentado de maíz maduro con las diferentes partes que lo componen (A); Tomada de Aldrich y Leng (1974). Grano harinoso sin depresión o diente (B) -----	16
Figura 2	Corte transversal de un brote joven con los primordios foliares sucesivamente más viejos y dispuestos en dos filas (A). Esquema de un brote rodeado por el primordio foliar más joven (B). Esquemas de un brote con un nudo y una hoja que rodea al tallo (C). Fotografía tomada de Katherine Esaú, 1959, 1976 y 1979 -----	17
Figura 3	Semilla de maíz donde se observan las primeras cinco hojas en forma de anillos concéntricos dentro del coleóptilo. Fotografía tomada de Aldrich y Leng, 1974 -----	18
Figura 4	Planta de maíz en la que se observa la posición alterna dística de las hojas -----	20

RESUMEN

Esta investigación se hizo con el objetivo de conocer el efecto que ocasiona el paclobutrazol (PBZ) en el contenido de clorofila, crecimiento, proteína y rendimiento de grano del maíz. Se utilizaron los cultivares 'Puma', '30P49' y 'DK2020', el primero se sembró en el ciclo agrícola 2008-2009 y los tres en el 2009-2010, en un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Se fertilizó con 200 kg de N a partir de urea en 2008-2009 y con 250 en 2009-2010. Las dosis de PBZ fueron 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua, mismas que se aplicaron sobre el follaje y se completaron con una, dos y tres aplicaciones, respectivamente, con solución de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua. La clorofila se midió con Spad-502 y la proteína con el método Kjeldahl. En el cultivar 'Puma', el contenido de clorofila se incrementó de 3.9-5.9% en 2008-2009 y de 3.2-9.5% en 2009-2010; mientras que en '30P49' y 'DK2020' los incrementos fueron de 9.5 y 16.9%. El PBZ no disminuyó la altura de plantas en ningún cultivar, pero ocasionó ligeros incrementos (3.2-3.6%) en longitud de hojas de 'Puma', y el ancho de hojas sólo se incrementó 7.4% con 150 mg de PBZ, y en '30P49' y 'DK2020' las dos variables no cambiaron. El contenido de proteína en 'Puma' se incrementó 6.1% sólo con 300 mg de PBZ, con correlación de -0.67 con el rendimiento. El rendimiento de grano en 'Puma' se incrementó 12.6% con 150 mg de PBZ en 2008-2009 y 15.7% con 450 mg de PBZ en 2009-2010, mientras que en '30P49' y 'DK2020' no varió.

ABSTRACT

This research was made with objective of know the effect that causes paclobutrazol (PBZ) in the content of chlorophyll, growth, protein and corn grain yield. Used cultivars 'Puma', '30P49' and 'DK2020', the first was sowed in the agricultural cycle 2008-2009 and the three in 2009-2010, in a design of complete blocks random with five repetitions. He fertilized with 200 kg of N of urea in 2008-2009 and 250 in 2009-2010. PBZ doses were 150, 300 and 450 mg of PBZ L⁻¹ water, same that were applied on the foliage and were completed with one, two and three applications, respectively, with 150 mg of PBZ L⁻¹ of water solution. Chlorophyll is measured with Spad-502 and the protein to the Kjeldahl method. In the cultivar 'Puma' chlorophyll content increased from 3.9-5.9% in 2008-2009 and 3.2-9.5% in 2009-2010; '30P49' and 'DK2020' increases were 9.5 and 16.9%. The PBZ did not decrease the height of plants in any cultivate, but occasioned slight increases (3.2-3.6%) length 'Puma' leaves and leaf width only increased 7.4% with 150 mg of PBZ, in '30P49' and 'DK2020' both variables did not change. 'Puma' protein content increased 6.1% only with 300 mg of PBZ, with correlation of -0.67 with yield. Grain yield in 'Puma' increased 12.6% with 150 mg of PBZ in 2008-2009 and 15.7% with 450 mg of PBZ in 2009-2010, while in '30P49' and 'DK2020' unchanged.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es una planta que puede responder ante factores bióticos y abióticos del medio ambiente, de tal manera que sus respuestas se pueden reflejar en tolerancia o susceptibilidad a dichos factores ambientales; asimismo, en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de grano.

En el ciclo de vida del maíz influyen sustancias propias de la planta que inducen la división y elongación celular, como las giberelinas, auxinas, etileno, ácido absísico, entre otras, que se denominan hormonas, las cuales tienen efecto en el crecimiento y desarrollo de la planta. Además de estas sustancias, el hombre ha desarrollado las que se conocen como reguladores del crecimiento, dentro de las cuales se encuentra el paclobutrazol (PBZ), el que a su vez tiene efecto en el crecimiento y desarrollo de varias especies vegetales, haciendo que algunas disminuyan o incrementen su crecimiento en las respectivas partes vegetativas, lo cual depende de las dosis y etapa fenológica en que se aplique.

Sin embargo, dichos efectos del PBZ se desconocían en la planta de maíz, como tampoco se había generado conocimiento acerca de las dosis y etapas fenológicas en que se puede aplicar dicha sustancia, para inducir las respuestas de mejor beneficio en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz, ya que la población humana va incrementándose cada día y, en consecuencia, la demanda de alimentos. Esto último hace que constantemente el hombre esté buscando más tecnologías que tengan efecto en la producción de alimentos, conservando los recursos naturales (suelo, agua, aire, etc.), protegiendo el medio ambiente, y cuidando la viabilidad económica y la equidad social.

Investigar los efectos del PBZ en el maíz, permitió generar conocimiento que complementa la ciencia de la misma especie, de los reguladores de crecimiento y de la tecnología, si esta última se define como instrumentos, métodos o procedimientos que el hombre usa en sus sistemas de producción agrícola, pecuaria, etc.

Con esta investigación se logró descubrir que el PBZ no retarda el crecimiento de las plantas de maíz, cuando se aplica sobre el follaje en dosis de 150, 300 ó 450 mg L⁻¹ de agua, las últimas dos en forma acumulativa de dos o tres aplicaciones con 150 mg L⁻¹; en cambio sí ocasiona que el contenido de clorofila se incremente, al igual que otros caracteres, como el rendimiento de grano o producción de alimento. De tal manera que cuando el maíz es cultivado en suelo vertisol, como el que se utilizó en esta investigación, además de aplicar en la misma intensidad otras tecnologías en el manejo del mismo, las respuestas que se observaron sólo pueden ser atribuidas a la acción del PBZ.

Por lo anterior, el PBZ es una tecnología que se puede utilizar para inducir los beneficios de mayor producción de alimento por unidad de superficie, siempre que se considere el procedimiento de aplicarlo cuando las plantas de maíz tengan de cuatro a ocho hojas verdaderas. Esto se pudo descubrir a partir del planteamiento del problema, objetivo e hipótesis que se mencionan a continuación.

II. PROBLEMA

Se conoce que el paclobutrazol retarda el crecimiento del tallo o que incrementa la materia seca de la parte aérea y raíces de las plantas de tomate, berenjena, pimiento y ornamentales, pero se desconoce el efecto que produce en la planta del maíz, aplicado en tres etapas fenológicas a través de la dosis de 150, 300 y 450 mg L⁻¹ de agua.

III. OBJETIVO

Determinar el efecto que produce el paclobutrazol en contenido de clorofila, altura, diámetro del tallo, longitud y anchura de hoja, peso y volumen de 1000 granos, contenido de proteína y rendimiento de grano por hectárea, aplicado en tres etapas fenológicas mediante las dosis de 150, 300 y 450 mg L⁻¹ de agua.

IV. HIPÓTESIS

El paclobutrazol hace que en las plantas de maíz se incremente el contenido de clorofila, crecimiento, contenido de proteína y rendimiento de grano de los cultivares de maíz 'Puma', '30P49' y 'DK2020', cuando se aplica en dosis de 150, 300 y 450 mg L⁻¹ de agua sobre el follaje durante las etapas fenológicas de cuatro, seis y ocho hojas verdaderas.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Grupos de retardantes del crecimiento de plantas

Wareing y Phillips (1981), mencionaron que la introducción de productos químicos orgánicos retardantes del crecimiento en plantas, se ha venido realizando para aplicar los mismos e incrementar la floración, la fijación de frutos, la tuberización, la resistencia al frío, sequía y sales, también permiten reducir el rompimiento de raíces en plántulas para trasplante produciendo plantas más compactas (Hickman *et al.*, 1989). Krishnamoorthy (1981) menciona que los grupos importantes de retardantes de crecimiento son: a) nicotínicos, como el cloruro de 2-4-diclorobencil nicotínico (2-4 DNC); b) carbamatos cuaternarios de amonio, por ejemplo: AMO-1618; c) compuestos fosfónicos de los cuales el fosfón D y fosfón 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 uniconazole y paclobutrazol.

5.2. Mecanismo de acción de los retardantes de crecimiento en plantas

Rojas y Rovalo (1985), indicaron que los retardantes de crecimiento actuales en el mercado, son compuestos orgánicos sintéticos, que retrasan la división y alargamiento celular en tejidos del brote en activo crecimiento. Los inhibidores de crecimiento desempeñan un papel importante, ya que pueden controlar una amplia variedad de procesos (Nitsch, 1957), como el control del crecimiento, desarrollo vegetal y la inhibición de hormonas (giberelinas) esenciales para el crecimiento y elongación de tallos; los retardantes de crecimiento reducen la división y elongación celular, localizados en los ápices y meristemas subapicales, suprimiendo el crecimiento del tallo

y acortando los entrenudos, (Weaver, 1984), sin provocar malformaciones en los tallos ni en las hojas (Rojas y Rovalo, 1985; Wilfred, 1978).

Los retardantes de crecimiento como 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^R), 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 meristemas subapicales (Early y Martín, 1988).

El PBZ es un fungicida de los triazoles que 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. Además, incrementa considerablemente el total de fenoles en la especie *Ocimum sanctum* (Gopi et al., 2009).

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 mg g⁻¹ de peso fresco (Nizam y Te-chato, 2009).

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; 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. En 1985, Goulston y Shearing reportaron que en plantas de Nochebuena, aplicaciones de paclobutrazol dirigidas al suelo y follaje,

redujeron la altura de plantas y produjeron plantas más compactas con un follaje verde oscuro.

5.3. Efecto de los retardantes de crecimiento en la altura de plantas

El efecto de los retardantes de crecimiento es frecuentemente el opuesto al de las giberelinas, mientras que éstas inducen el crecimiento de los entrenudos, los retardantes provocan un acortamiento de los mismos (Weaver, 1984).

Hickman *et al.* (1989) mencionaron que aplicaciones de uniconazole producen plantas de menor altura y compactas, aptas para el trasplante. Folquer (1979), citado por Maroto (2000), reportó que aplicaciones de cloromequat, en plantas pequeñas de tomate, produce plantas compactas y acortadas e incrementa la tolerancia a la sequía, esto es benéfico durante el trasplante en campo.

Tanto Rojas (1984) como Appezzato y Castro (1982), citados por Rojas y Ramírez (1991), reportaron que el cloromequat es un producto antigiberélico, y uno de los efectos típicos es dar a la planta resistencia al estrés después del trasplante, aun cuando induce tallos cortos y hojas más pequeñas; su efecto protector no radica en estos cambios morfológicos sino en alguna acción fisiológica; asimismo, que este regulador ha sido canalizado para inducir en trigo, y en otros cereales de grano pequeño, un hábito de crecimiento más corto, tallos gruesos y de mayor macollaje, incrementándose la resistencia a la sequía y frío.

Weaver (1984) informó que desde 1949 se introdujeron productos químicos orgánicos sintéticos que retrasan el crecimiento de los tallos, incrementan el color verde de las hojas y afectan indirectamente la floración sin provocar deformaciones, y estos compuestos retardan la división y elongación celular, controlando la altura de las plantas sin causar doblamiento de los tallos ni deformaciones de las hojas. Mitchell *et*

al. (1949) mencionaron que los retardantes nicotínicos reducen la elongación de los tallos de plantas de frijol.

Mariscal *et al.* (1992) encontraron que el paclobutrazol retardó el crecimiento del tallo en hortensia en dosis de 50 mL L⁻¹ aplicados al follaje en el cultivar Rose Supreme; asimismo, que mediante dos aplicaciones foliares de 50 ppm de paclobutrazol controlaron el alargamiento de tallo, produciendo plantas de menor altura (37 cm) que plantas no tratadas (50 cm).

Villegas y Lozoya (1991) reportaron que paclobutrazol inhibió el crecimiento de las plantas de Nochebuena sin detrimento en el aspecto o diferenciación floral, en concentraciones de 2.0 y 4.0 mg L⁻¹, así como 120 y 160 mg L⁻¹ de ingrediente activo, en aplicaciones al suelo y follaje, respectivamente.

Campbell (1976) observó que aplicaciones de daminocida en dosis de 5000 ppm y ethephon en dosis de 150 y 300 ppm, sobre plantas de tomate en semilleros, mejoraron la calidad y uniformidad de las mismas, redujeron la elongación de los tallos, estimularon la producción de raíces y evitaron la formación prematura de flores y frutos.

Keever y McGuire (1991) en experimentos con retardantes de crecimiento como uniconazole, en camelia a concentraciones de 0-60 ppm, encontraron que las plantas tratadas con 60 ppm presentaron un menor crecimiento, sin efectos adversos en floración.

Lozoya (1992) reportó que el alar (ácido N. dimetilamino succinámico, daminozide), el CCC, ethephon y PP333 acortaron los entrenudos en crisantemos y en margaritas de corte produjeron plantas más compactas.

El paclobutrazol es un derivado de la pirimidina que ha mostrado actividad para controlar el crecimiento en un amplio rango de plantas (Freeborg y Daniel, 1981;

McDaniel, 1983; McDaniel, 1986; Shanks, 1980; Sterrett, 1985); 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 (Barrett y Nell, 1989; Mansour y Poole, 1987; Wang y Blessington, 1990), pero su efectividad se ha manifestado a través de dosis superiores a las requeridas de uniconazole o ancymidol para tener la misma reducción (Barrett y Nell, 1989; Wang, 1989; Wang y Blessington, 1990 y McDaniel, 1990).

Según Barrett y Bartuska (1982), el efecto de paclobutrazol en la elongación del tallo depende del lugar de aplicación, aunque algunos estudios han indicado que es translocado en 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).

La estructura del paclobutrazol es similar a la del brasinazole; sin embargo, éste último es un potente inhibidor de la biosíntesis del brasinosteroide, el que a su vez es una sustancia inductora de enanismo en tomate, chícharo y *Arabidopsis*, que últimamente ha sido clasificada como una nueva clase de fitohormona (Yokota, 1997; Clouse y Sasse, 1998).

Los triazoles, como el paclobutrazol, 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 paclobutrazol, aplicado en el suelo hasta humedecerlo, es más efectivo para retardar la altura de la azucena Easter, que la aplicación foliar (Giagnagna 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, fue menos efectivo que cuando fue humedecido el suelo, para controlar la altura de crisantemo (Sanderson *et al.*, 1988).

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.

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).

5.4. Efectos que ocasionan los retardantes de crecimiento en el diámetro de tallo

Plantas tratadas con retardantes de crecimiento desarrollan tallos gruesos y hojas de color verde oscuro, con cambios similares a los producidos al exponer las plantas a una iluminación intensa y bajas temperaturas (Wittwer y Teubner, 1956). El cycocel, cloruro

de clormecuat o CCC, es usado comercialmente en cultivos de cereales en Europa para reducir la altura de plantas y tener tallos más gruesos y fuertes (Rojas, 1982).

Mediante dosis de 12 y 24 mL L⁻¹ de paclobutrazol, combinado con 75 y 150 kg de N ha⁻¹, 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 las clorofilas **a** y **b** en relación con las plantas testigo o aquellas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremiren *et al.*, 2002).

5.5. Efectos que producen los retardantes de crecimiento en la floración

Pisarczyk y Splittstoesser (1979), Wittwer y Tolbert (1960) y Bailey *et al.* (1986), realizaron estudios sobre la acción de diversos retardantes de crecimiento en plantas de tomate y demostraron que es factible en la floración de las plantas retrasar y regular el trasplante, sin ejercer efectos negativos, los resultados obtenidos demostraron que con clormecuat, daminocida y ethephon, se puede retrasar hasta 15 días el trasplante, sin afectar la precocidad de flores y frutos en relación con el testigo, sin embargo, retardantes de crecimiento como CCC y los compuestos relacionados (2, bromoetil) (trimetil amonio-bromuro) y (2, 3-n-propileno) trimetil amonio bromuro en aplicaciones a plantas de tomate en concentraciones de 10⁻³ a 10⁻⁷ molar, modifican el crecimiento y fomentan la floración temprana. Pisarczyk y Splittstoesser (1979), Wittwer 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 ancimidol y paclobutrazol y 10,000 mL L⁻¹ de daminozide. Mariscal *et al.* (1992) mencionan que con aspersiones foliares semanales de 5,000 mL L⁻¹ de daminozide se puede acortar los entrenudos y la iniciación floral puede ser inhibida en las variedades Rose Supreme y Sister Therese de hortensias. El

daminocide (B-9R) se caracteriza por inducir floración, reducir el crecimiento, ser de baja toxicidad y fácilmente absorbible, teniéndose como efecto primario el inhibir la síntesis del ácido indolacético (Arellano *et al.*, 1992).

En plantas de *Zantedeschia* cultivadas como ornamentales en macetas, la altura se puede controlar mediante el retardante de crecimiento llamado paclobutrazol (Tjia, 1987), y dicho producto puede interactuar con GA₃ para afectar la altura y el número de flores de *Zantedeschia rehmannii* cultivadas a partir de rizomas producidos en campo (Carr y Widmer, 1991).

En árboles de peonía (*Paeonia suffruticosa*), plantas leguminosas medicinales, el paclobutrazol 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 Hanakiso (Hamada *et al.*, 1990).

En *Ficus benjamina*, la producción y el tamaño de la hoja fueron caracteres reducidos cuando el medio fue humedecido con paclobutrazol (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 (Wood, 1988).

Debido a que el paclobutrazol 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 de GA₃ por el paclobutrazol 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).

El paclobutrazol es un activo inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico (Dalziel y Lawrence, 1984; Tadao *et al.*, 2000); ha sido reportado para retardar la elongación del tallo, y en ocasiones para promover la floración en plantas ornamentales leñosas (Bailey *et al.*, 1986; Goultson y Shearing, 1985; Wilkinson y Richards, 1988).

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).

5.6. Efectos que ocasiona el paclobutrazol en cereales

Mediante las dosis de 12 y 24 mL L⁻¹ de paclobutrazol, combinado con 75 y 150 kg de N ha⁻¹, respectivamente, el paclobutrazol 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 aquellas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremiren *et al.*, 2002).

humbiendo semillas de trigo durante 24 horas en solución con 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 fríos o en refrigerador, el paclobutrazol 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 paclobutrazol ocasionó que los cloroplastos fueran más grandes; asimismo, que se incrementará el número de lamelas del estroma y de pilas de grana (Sopher *et al.*, 1999).

5.7. 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 estroma con enzimas que convierten el CO₂ en carbohidratos, especialmente en almidón, tilacoides (lamelas) y grana (pilas de tilacoides) constituidos por dos membranas, en donde se almacena la clorofila (Salisbury y Ross, 2000).

5.8. Historia y origen del maíz

El maíz es nativo de América, fue la principal planta alimenticia de los indígenas cuando Colón descubrió América, y en la actualidad es la fuente de alimentos más importante en México, América Central y muchos países de América del Sur; es decir, el maíz es una de las plantas cultivadas más antiguas, pero ya no sobrevive en forma silvestre y sólo se produce bajo cultivo (Poehlman, 1981).

Los últimos descubrimientos arqueológicos han demostrado que el maíz se aprovechaba ya desde hace unos 7,000 años. Entonces las mazorcas medían unos 5.0 cm de longitud y tenían unas ocho hileras de granos muy pequeños; mientras que actualmente la mazorca puede alcanzar una longitud de 40 a 50 cm en algunas variedades (Brauer, 1973).

En un principio, la modificación del tamaño de la mazorca, de los granos y de las poblaciones seleccionadas se logró a través del proceso de selección durante muchas generaciones, pero más tarde la selección fue combinada con el proceso de hibridación, por lo que se ha logrado aumentar el tamaño de la mazorca, número de carreras, tamaño del grano, número de granos por mazorca, contenido de proteína, etc. (Allard, 1967).

El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. El origen y la evolución del maíz han sido un misterio porque el maíz ha llegado a nosotros altamente evolucionado, sin conocerse formas intermedias. A pesar de extensivas búsquedas de las formas silvestres de esta planta, no ha sido encontrada alguna (Laboratorio Químico de Productos Naturales, 1991).

Mientras que los cereales del Viejo Mundo tienen variedades silvestres que se preservan en la naturaleza, el maíz es conocido solamente por la especie cultivada (*Zea mays* L.). Desde el siglo pasado diversas teorías han sido expuestas para explicar el origen y la evolución del maíz, la más popular de ellas acepta al teocintle de Chalco (*Zea mays ssp mexicana*) como el antecesor directo del maíz (Laboratorio Químico de Productos Naturales, 1991).

En los años 80, Iltis propuso una teoría en la cual establece que el teocintle se convirtió en maíz en un solo paso macroevolutivo (saltacionista); sin embargo, recientes estudios genéticos de recombinación parecen descartar la hipótesis de Iltis (Laboratorio Químico de Productos Naturales, 1991).

5.9. Importancia económica

El maíz es la principal especie cultivada en los Estados Unidos y ocupa una gran superficie de toda la tierra de cultivo de dicho país; no obstante, en México también es

la especie que más se siembra; asimismo en Sinaloa, donde con el maíz fueron sembradas más de 500, 000 hectáreas durante el ciclo agrícola 2006-2007 (USDA, 2004; Poehlman, 1981; CAADES, 2007).

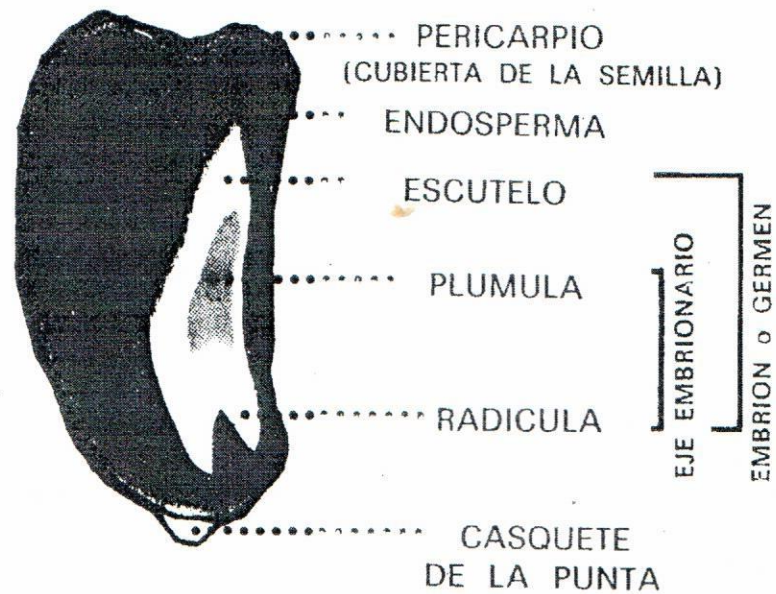
5.10. Partes componentes de la semilla de maíz

El grano de maíz maduro (Figura 1) está compuesto por tres partes principales: la cubierta de la semilla o pericarpio, el endospermo amiláceo y el embrión (también llamado germen), que constituye una nueva planta después que la semilla germina. El embrión está formado por dos partes principales: el eje embrionario o planta nueva, y el escutelo o cotiledón que constituye una gran reserva de alimentos para la planta en crecimiento. El eje embrionario es una plúmula (parte foliar), esbozo embrionario de cinco a seis hojas, y una radícula o porción semejante a una raíz en miniatura (Aldrich y Lang, 1974).

5.11. Concepto de semilla

En términos agronómicos y comerciales, se conoce como semilla a toda clase de granos, frutos y estructuras más complejas que se emplean en las siembras agrícolas. Botánicamente una semilla verdadera es un embrión en estado latente, acompañado o no de tejido nutritivo y protegido por episperma (Moreno, 1984).

A



1984).

B

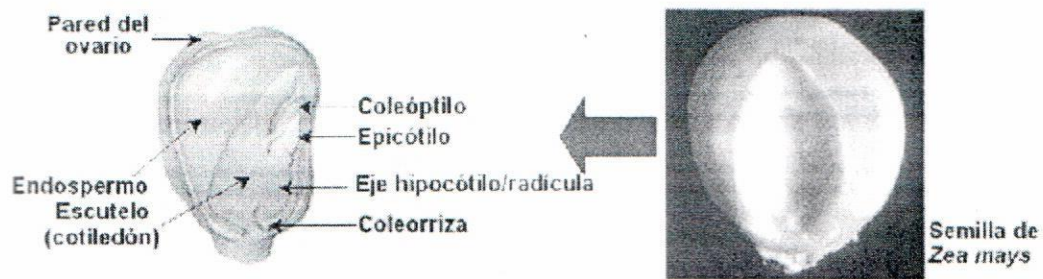


Figura 1. Grano dentado de maíz maduro con las diferentes partes que lo componen (A); Tomada de Aldrich y Leng (1974). Grano harinoso sin depresión o diente (B).

5.12. Algunas características de la planta de maíz

La planta de maíz se caracteriza por tener células de la vaina fascicular en las que los cloroplastos tienen pobre desarrollo y carecen de grana; mientras que en las células del mesófilo los cloroplastos tienen muchos grana (Bidwell, 1979).

La planta de maíz corresponde al grupo de las monocotiledóneas, específicamente a las gramíneas, en las cuales a través de un corte transversal (Figura 2) de un brote

se puede observar un tallo rodeado por primordios foliares sucesivamente más viejos y dispuestos en dos filas opuestas en el tallo (Esaú, 1959).

Las primeras cinco hojas de la plántula de maíz ya están en la semilla en el momento de la siembra, y aparecen en forma de anillos concéntricos (Figura 3) comprendidos dentro del coleóptilo que se encuentra rodeado por el escutelo (Aldrich y Leng, 1974).

En condiciones normales, todas las hojas de la planta de maíz se forman durante las primeras cuatro o cinco semanas de su crecimiento. Las hojas nuevas se producen en un único punto de crecimiento, situados en el ápice del tallo. De cinco hojas embrionarias en la semilla, una planta de maíz normal produce entre 20 y 30 hojas (Aldrich y Leng, 1974).

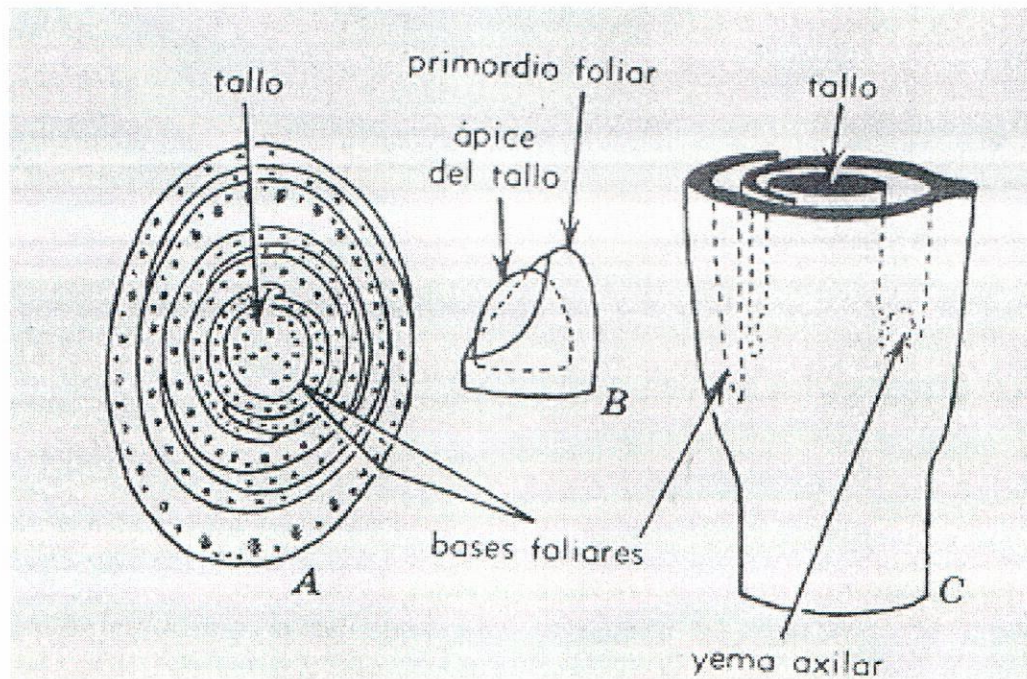


Figura 2. Corte transversal de un brote joven con los primordios foliares sucesivamente más viejos y dispuestos en dos filas (A). Esquema de un brote rodeado por el primordio foliar más joven (B). Esquemas de un brote con un nudo y una hoja que rodea al tallo (C). Fotografía tomada de Katherine Esaú, 1959, 1976 y 1979.

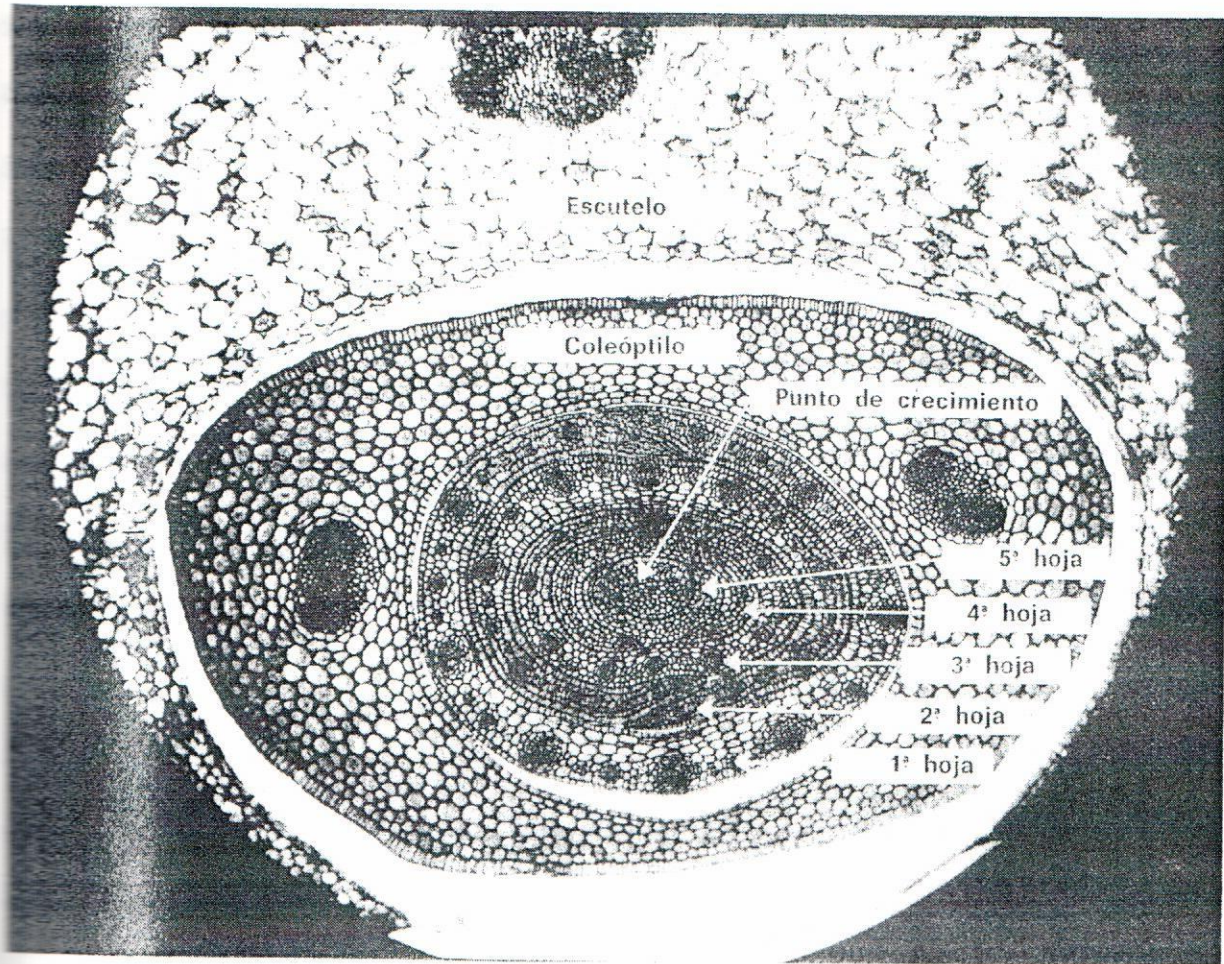


Figura 3. Semilla de maíz donde se observan las primeras cinco hojas en forma de anillos concéntricos dentro del coleóptilo. Fotografía tomada de Aldrich y Leng, 1974.

La hoja de la planta de maíz es el principal órgano que absorbe la energía luminosa y la energía térmica (infrarroja), lo cual se conoce como carga de radiación, y de la cual sólo transforma una pequeña fracción en energía química potencial a través de la fotosíntesis (Ray, 1980).

En la planta de maíz, las características de altura, materia seca, días a floración masculina y femenina, madurez fisiológica, por ciento de acame y rendimiento de

grano, no se deben al tamaño de semilla ni a la profundidad de la siembra (Sánchez y Carballo, 1983).

5.13. Filotaxia

Es la disposición de las hojas sobre el tallo. Está íntimamente ligada a la estructura primaria del tallo: el número de haces vasculares del tallo queda determinado por la filotaxia, cuanto más densa es la misma, mayor será el número de haces caulinares. El estudio de la filotaxia puede hacerse de dos maneras: estudiando el arreglo de las hojas a lo largo del tallo ya desarrollado, o estudiando un corte transversal de una yema, donde se puede analizar la situación respectiva de varias hojas jóvenes (anónimo, 2005).

Se llama filotaxia a la disposición de las hojas en el tallo o en las ramas. Esta disposición es constante para cada especie vegetal, pero variable de unas especies a otras. Por su filotaxia las hojas pueden ser de tres tipos: opuestas, verticales y alternas. La filotaxia de las hojas alternas no se efectúa al azar, sino que obedece a las leyes matemáticas precisas, que es importante exponer aunque sea en forma elemental. Las hojas alternas se encuentran dispuestas en los nudos, que forman líneas o series longitudinales a lo largo del tallo, que se llaman ortósticas (Ruiz *et al.*, 1985).

Los primordios foliares no se desarrollan al azar alrededor del ápice del brote; más bien, típicamente cada especie tiene un arreglo característico o filotaxia, que hace que las hojas sean opuestas o alternas (Richards y Schwabe, 1969).

En la disposición alterna de hojas, en cada nudo se inserta una hoja, y de esta disposición existen dos tipos principales que son: dística y helicoidal. La primera refiere la inserción de las hojas sobre el tallo, a lo largo de dos líneas; mientras que la segunda indica que las hojas están esparcidas sobre el tallo, ordenadas regularmente sobre una

espiral dextrorsa o sinistrorsa (anónimo, 2005). La disposición alterna dística de las hojas es la que se presenta en la Figura 4, en la cual claramente se notan dos líneas opuestas de hojas sobre el tallo.



Figura 4. Planta de maíz en la que se observa la posición alterna dística de las hojas.

VI. 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, con coordenadas $24^{\circ} 37' 29''$ N y $107^{\circ} 26' 36''$ O, y durante el ciclo agrícola 2008-2009 se utilizó la variedad Puma de la empresa Asgrow; mientras que durante el ciclo 2009-2010 se utilizaron las variedades 'Puma', '30P49' y 'DK2020'. Durante el ciclo 2008-2009, la siembra se llevó a cabo el 19 de diciembre de 2008, en tanto que en el ciclo 2009-2010 la siembra se hizo el 8 de diciembre de 2009. En los dos casos en hileras sencillas y bajo condiciones de campo abierto, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones.

Para la variedad Puma en el ciclo 2008-2009, las parcelas experimentales constaron de cuatro surcos de 40 m de largo y las parcelas útiles fueron los dos surcos centrales, con separación de 0.80 m entre sí, sobre los cuales se hizo la siembra a tierra venida, ya que el suelo es de textura arcillosa y se dio un riego por gravedad de presiembra, así como los riegos de auxilio por gravedad (tres) necesarios para inducir el crecimiento y desarrollo de las plantas. Todas las parcelas experimentales del primer experimento fueron manejadas con $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ a partir de urea, aplicando el 100% al momento de la escarda, momentos antes del primer riego de auxilio; además, las plantas fueron protegidas con el insecticida Paratión Metílico 720 para combatir el gusano cogollero. Pevio a la siembra se hizo análisis del suelo para conocer algunas de sus propiedades físicas y químicas, tales como $\text{pH}=7.6$, $\text{CE}=0.92 \text{ dS m}^{-1}$, $\text{MO}=0.86$, $\text{RAS}=1.1$, $\text{N}=147 \text{ kg ha}^{-1}$ y $\text{P}=28.7 \text{ kg ha}^{-1}$.

Sin embargo, en el ciclo 2009-2010 la siembra también se hizo en surcos separados a 0.80 m, pero en parcelas experimentales de 5.0 m de largo, en cinco repeticiones. En

donde el manejo incluyó la fertilización con 250 kg de N a partir de urea, aplicación de cuatro riegos de auxilio por gravedad, y aplicación de Paratión Metílico 720 para controlar el gusano cogollero.

En los dos ciclos, la densidad de población fue de 11 plantas por metro lineal, lo que ocasionó una población de 137,500 plantas por hectárea, lo cual resulta de multiplicar 11 plantas X 100 m de largo de los surcos X 125 surcos que se pueden construir en 100 m de ancho de la parcela.

Las variables de estudio fueron: contenido de clorofila, altura de plantas, diámetro del tallo, peso seco de raíces y de la parte aérea en condiciones de macetas en invernadero, longitud y anchura de las hojas, peso y volumen de 1000 granos, contenido de proteína y rendimiento por hectárea. En tanto que los tratamientos aplicados fueron las dosis de 0 (testigo), 150, 300, 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua. La dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua se aplicó en una sola ocasión, mientras que las de 300 y 450 se completaron a través de dos y tres aplicaciones con 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua, respectivamente, con una bomba manual. La primera aplicación del paclobutrazol se hizo cuando las plantas tuvieron cuatro hojas verdaderas, mientras que la segunda y tercera se hicieron ocho días después de la que le precedió, de tal manera que las plantas tuvieron seis y ocho hojas verdaderas, respectivamente.

Todas las variables, excepto el contenido de proteína y el peso seco de raíces y de la parte aérea, se evaluaron en una muestra de 20 plantas seleccionadas al azar. El contenido de clorofila se midió en Unidades Spad-502, en la parte media de la lámina foliar, específicamente a un lado de la nervadura central, y los datos se recabaron ocho días después de cada aplicación, y en aquellos casos donde se realizaron hasta tres aplicaciones la medición de clorofila se realizó antes de la siguiente aplicación; la altura

se midió a partir de la superficie del suelo hasta la base de la inflorescencia masculina; el peso seco de la raíces y de la parte aérea se midió con báscula de precisión; el diámetro del tallo se midió utilizando vernier en el entrenudo localizado entre la segunda y tercera hoja verdadera, considerando la parte más ensanchada del mismo; la longitud y anchura de las hojas se midieron con cinta métrica en la octava hoja de abajo hacia arriba, la primera desde la vaina hasta el ápice de las hojas, y la segunda en la parte central de la lámina foliar.

El peso de 1000 granos se obtuvo con una báscula de precisión marca Ohaus con capacidad de 2610 g; el volumen 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; para el contenido de proteína se utilizó el método Kjeldahl, y sólo se hizo en el grano de la variedad 'Puma' que se sembró en el ciclo agrícola 2009-2010; en tanto que el rendimiento se determinó en base a la producción obtenida en la cantidad de m² de las parcelas útiles.

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

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos del primer muestreo del contenido de clorofila de la variedad Puma sembrada durante el ciclo agrícola 2008-2009, se observó que la concentración de ésta fue con una media general de 33.6 Unidades Spad, con respecto a la cual los datos se desviaron 4.2 Unidades Spad, lo que a su vez representó el 12.8% en relación a la media general. La mayor concentración de clorofila se detectó en las plantas tratadas con 150, 300 y 450 mg de PBZ, lo cual superó en los respectivos 1.8, 3.9 y 5.8% a la cantidad de clorofila de las plantas testigo, sin que los promedios obtenidos de las plantas tratadas con PBZ y el de las plantas testigo fueran estadísticamente diferentes (Cuadro 1), de tal manera que estos resultados coinciden con los de Iremiren *et al.* (2002), toda vez que estos autores observaron que las plantas de maíz tratadas con paclobutrazol también fueron más verdes que las plantas testigo.

A través del segundo muestreo se lograron detectar diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre las medias de concentración de clorofila de las plantas con PBZ y las testigo (Cuadro 1); el promedio general y la desviación estándar fueron de 38.9 y 4.1 Unidades Spad, respectivamente, por lo que el coeficiente de variación fue de 10.5%, de tal manera que con 150, 300 ó 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua, los respectivos incrementos fueron de 8.6, 6.8 y 7.3%. Lo anterior se corresponde con la tendencia observada a través del primer muestreo, ya que con éste también se detectaron incrementos en relación a la media del testigo.

Con el tercer muestreo, los resultados indicaron un promedio general de 37.9 Unidades Spad, una desviación estándar de 4.5 y coeficiente de variación de 11.8%. En tanto que los promedios obtenidos de las plantas tratadas con PBZ no difirieron estadísticamente

entre sí ni con los del testigo, pero en valores absolutos (evidencias numéricas) superaron a éste en 3.8, 3.8 y 4.3%, respectivamente (Cuadro 1). De tal manera que como era obvio, los tratamientos de 150, 300 ó 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua indujeron promedios generales en los respectivos incrementos de 3.9, 4.8 y 5.9% en relación a la concentración de clorofila del testigo.

Cuadro 1. Concentración de clorofila en plantas de maíz del cultivar 'Puma' tratado con paclobutrazol en las etapas fenológicas de cuatro, seis y ocho hojas verdaderas. Ciclo agrícola 2008-2009.

Mg de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Clorofila			
	1 ^{er} muestreo	2 ^{do} muestreo	3 ^{er} muestreo	Promedio general
0 (testigo)	32.6 a	36.8 b	36.8 a	35.4 a
150	33.2 a	40.0 a	38.2 a	36.8 a
300	33.9 a	39.3 a	38.2 a	37.1 a
450	34.5 a	39.5 a	38.4 a	37.5 a
DMSH	2.2	2.1	2.3	2.2

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

De manera general la altura de las plantas fue de 2.26 m, con desviación estándar de 0.15 m y coeficiente de variación de 6.6%. No obstante, las medias de altura que se obtuvieron de las plantas tratadas con 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua fueron estadísticamente iguales (Cuadro 2), donde se nota que las plantas con paclobutrazol tuvieron una altura que se incrementó de 0.9-2% con respecto a las plantas testigo. De lo anterior se deduce que las plantas con PBZ fueron más eficientes para formar

materia seca, así como en el gasto de energía y la fijación de CO₂, y contribuyeron más en la conservación del medio ambiente y, en esa medida, en la disminución del calentamiento global. Además, la respuesta en la altura indica que el PBZ en las tres dosis que se utilizaron no retardó y, mucho menos, disminuyó este carácter, lo que coincide con los resultados de Partida *et al.* (2007) y Velázquez *et al.* (2008), ya que éstos observaron incrementos en la altura de plantas de tomate y chiles, respectivamente, cuando aplicaron dosis de 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua.

El diámetro del tallo se expresó con una media general de 2.6 cm, con desviación estándar de 0.4 cm y coeficiente de variación de 15.4%; en tanto que los promedios obtenidos con cada tratamiento fueron los que se observan en el Cuadro 2, con los que se estimaron incrementos de 5.5, 0.8 y 4.3% en las plantas tratadas con 150, 300 ó 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua con respecto al diámetro de tallos de las plantas testigo.

La longitud de hojas ocurrió con una media general de 97.8 cm, con una desviación estándar de 4.0 cm y un coeficiente de variación igual a 4.1%, y no obstante que en esta característica no se observaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2), en las plantas tratadas con paclobutrazol hubo incrementos que oscilaron de 0.5-1.5 cm en relación a la longitud de hojas en las plantas testigo. Los incrementos referidos indican mayor producción de materia seca y área foliar y, en consecuencia, mayor eficiencia en la fijación de CO₂, mejoramiento del proceso fotosintético y mayor influencia de las plantas en la disminución del calentamiento global.

La anchura de las hojas tuvo un promedio general de 8.5 cm, con una desviación estándar de 0.7 cm y un coeficiente de variación de 8.2%; pero entre los promedios obtenidos de las poblaciones de plantas tratadas y no tratadas (testigo) no hubo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2); no obstante, las hojas de las plantas

con PBZ fueron ligeramente menos anchas (de 1.6-4.4%) que las del testigo, lo que indica que el PBZ hizo más eficiente a las plantas por el contenido de clorofila y el proceso fotosintético que por el área foliar, ya que de acuerdo a Sopher *et al.* (1999), el PBZ ocasiona que en maíz (en los cultivares '3902' de Pioneer y 'Orgullo 5') los cloroplastos se hagan más grandes, se incremente el número de lamelas del estroma, y el de pilas de grana contenidos, según Salisbury y Ross (2000), en unos cuantos cientos de cloroplastos en cada célula de la hoja madura, de tal manera que en cloroplastos más grandes, con mayor número de lamelas y pilas de grana, se almacena más clorofila en la doble membrana de éstas.

Cuadro 2. Promedios de altura, diámetro de tallos, longitud y anchura de hojas de plantas de maíz cv 'Puma' tratada con paclobutrazol, ciclo agrícola 2008-2009.

Mg de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Altura (m)	Diámetro de tallos (cm)	Longitud de hojas (cm)	Anchura de hojas (cm)
0 (testigo)	2.24 a	2.56 a	96.99 a	8.70 a
150	2.26 a	2.70 a	97.47 a	8.32 a
300	2.26 a	2.58 a	98.33 a	8.56 a
450	2.29 a	2.67 a	98.37 a	8.46 a
DMSH	0.07	0.19	2.07	0.39

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Los incrementos observados en el diámetro de tallos, longitud y anchura de hojas en las plantas tratadas con PBZ, también tienen relación con los resultados de Partida *et al.* (2007), Velázquez *et al.* (2008), ya que los primeros obtuvieron mayor producción de materia seca en las raíces y la parte aérea de pimiento morrón y berenjena tratadas con

PBZ; mientras que los segundos reportaron incrementos del crecimiento del tallo en plantas de tomate que fueron asperjadas con dosis de 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua. En tanto que los resultados en relación a las disminuciones del área foliar también tienen relación con los de Burch *et al.* (1996), toda vez que ellos observaron que el PBZ reduce la expansión de hojas en muchas especies de árboles.

El peso de 1000 granos tuvo una media general de 358.4 g; la desviación estándar fue de 26.9 g y el coeficiente de variación de 7.5%. Este carácter se incrementó 1.4, 1.4 y 3.2% con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua (Cuadro 3). La media general del volumen de 1000 granos fue de 293 cm³, la desviación estándar de 27.3 cm³ y el coeficiente de variación de 9.3%, y esta característica se incrementó 0.7, 4.9 y 3.5 con las dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua en relación al volumen promedio observado en los granos del testigo (Cuadro 3). Mientras que el rendimiento de grano se expresó sin diferencias estadísticas con una media general de 8.783, desviación estándar de 1.9 y coeficiente de variación de 19.6%; carácter en el que los incrementos fueron de 12.6, 9.0 y 12.6% con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ en relación al que se obtuvo en el testigo (Cuadro 3). De tal manera que las diferencias numéricas o en porcentajes indican que las plantas tratadas con PBZ fueron más eficientes para fijar CO₂ y acumular materia seca en el grano u órgano de cosecha, por lo que esta tecnología puede ser una alternativa para incrementar la producción de los sistemas de producción agrícola de maíz, a la vez que por inducir mayor fijación de CO₂, también puede ser una tecnología que indirectamente contribuya a que disminuya el calentamiento global.

Cuadro 3. Peso, volumen y rendimiento de grano de la variedad 'Puma'. Ciclo agrícola 2008-2009.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Peso de 1000 granos (g)	Volumen de 1000 granos (cm ³)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
0 (testigo)	350.7 a	284 a	8.091 a
150	355.5 a	286 a	9.114 a
300	355.6 a	298 a	8.818 a
450	361.9 a	294 a	9.111 a
DMSH	50.6	51.3	1.322

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Al revisar nuevamente los efectos producidos por el PBZ en el contenido de clorofila de los tres cultivares, en 'Puma' se observó una media general de 38.9 Unidades Spad con una desviación estándar de 3.4 Unidades Spad y un coeficiente de variación de 8.9% (Cuadro 4), por lo que la clorofila sólo se incrementó 1.8% con 300 mg de PBZ en relación al testigo.

En el cultivar '30P49' la media general fue de 36.3 Unidades Spad, una desviación estándar de 4.1 Unidades Spad y un coeficiente de variación de 11.3%; de tal manera que en este cultivar el contenido de clorofila no se incrementó en comparación con el testigo (Cuadro 4).

En el cultivar 'DK2020' la media general fue de 35.6 Unidades Spad con una desviación estándar de 5.7 Unidades Spad y un coeficiente de variación de 16.0%, de tal manera que en este cultivar también se incrementó la clorofila en 6.7% en las plantas con PBZ en relación al testigo (Cuadro 4).

Los resultados obtenidos en los ciclos 2008-2009 y 2009-2010, permitieron observar que el PBZ incrementó el contenido de clorofila, pero esta sustancia no se modificó en su concentración conforme se hicieron aplicaciones acumulativas con dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua hasta completar 300 ó 450 mg en las plantas de las parcelas designadas para dichas cantidades.

Cuadro 4. Contenido de clorofila de tres cultivares tratados con PBZ. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares		
	PUMA	30P49	DK2020
0 (testigo)	34.8 b	34.8 b	34.4 b
150	38.1 a	38.1 a	36.7 a
300	35.9 a	-----	-----
450	37.8 a	-----	-----
DMSH	3.4	3.1	3.0

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

En la altura de plantas de maíz, específicamente en los cultivares 'Puma', '30P49' y 'DK2020', sembrados el 8 de diciembre de 2009 (ciclo agrícola 2009-2010), se pudo observar que en la variedad 'Puma' la altura fue igual entre las plantas con 0 (testigo), 150, 300 ó 450 mg de PBZ (Cuadro 5); en el cultivar 'DK-2020' la altura también fue similar entre las del testigo y las que recibieron 150 mg de PBZ. Asimismo, entre las plantas del cultivar '30P49' tratado con la misma dosis de PBZ (150 mg) y las del testigo. Lo anterior permitió confirmar que el PBZ no disminuye dicho carácter en los tres cultivares utilizados, aplicándolo a partir de la cuarta hoja verdadera, ya que por ser

un regulador de crecimiento que se conoce como inhibidor de las giberelinas en los puntos de crecimiento, y porque éstas seguramente existen en mayor concentración en plantas con las etapas fenológicas consideradas en esta investigación, las que a su vez no fueron bloqueadas con las dosis de PBZ utilizadas.

Cuadro 5. Altura de plantas de tres cultivares de maíz tratado con paclobutrazol en etapas de cuatro, seis y ocho hojas verdaderas en el cultivar 'Puma', y en la de cuatro para '30P49' y 'DK2020'. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares		
	PUMA	30P49	DK2020
0 (testigo)	1.90 a	2.04 a	2.05 a
150	1.90 a	2.03 a	2.02 a
300	1.91 a	-----	-----
450	1.82 a	-----	-----

DMSH

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

El peso seco de raíces se observó con incremento de 12% con la dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua en el cultivar 'Puma' (Cuadro 6); de 22.8, 12.3 y 98.2% con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ en el cultivar '30P49'; y de 26.7% en el cultivar 'DK2020'; en tanto que el peso seco de la parte aérea también se incrementó 7.3% con la dosis de 150 mg de PBZ en el cultivar 'Puma'; 34.9 y 9.2% en el cultivar '30P49'; y 4.0 , 4.6 y 2.4 veces a la del testigo con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ en el cultivar 'DK2020' (Cuadro 6).

Lo anterior indica que estas partes de las plantas de maíz también se pueden mejorar para hacerlas más eficientes, como puede suceder a través de las raíces en la absorción de agua y nutrimentos, lo cual puede repercutir en mayor eficiencia de las plantas en su metabolismo, para que puedan fijar más CO₂ y así producir más materia seca, como lo que se observó en el rendimiento de maíz.

Cuadro 6. Peso seco de raíces y de la parte aérea de plantas de maíz cultivadas en macetas, y tratadas con PBZ en la etapa de seis hojas verdaderas. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Peso seco de raíces			Peso seco de la parte aérea		
	Puma	30P49	DK2020	Puma	30P49	DK2020
0 (testigo)	5.0 a	5.7 b	4.5 a	10.3 ab	10.9 b	2.0 c
150	5.6 a	7.0 b	4.5 a	11.7 a	14.7 a	8.1 ab
300	1.6 b	6.4 b	5.7 a	4.0 c	9.0 b	9.3 a
450	4.4 ab	11.3 a	2.1 b	7.3 bc	11.9 ab	4.9 bc
DMSH	2.7	3.0	1.3	3.7	3.4	3.8

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

La longitud de hojas en el cultivar 'Puma' tuvo un promedio general de 94.8 cm con desviación estándar de 5.2 cm y coeficiente de variación de 5.5%; No obstante, que sólo ocurrieron diferencias numéricas la longitud se incremento de 3.1-3.2% con 150 ó 450 mg de PBZ en comparación con la longitud de hojas del testigo (Cuadro 7).

En el cultivar 'DK2020' tuvo una media general de 94.4 cm con una desviación estándar de 4.1 cm y un coeficiente de variación de 4.4%; sin embargo, esta variable disminuyó 1.6% en las plantas tratadas con 150 mg de PBZ comparado con el testigo. Mientras

que en '30P49' la media general fue de 84.3 cm, la desviación estándar 4.2 cm y el coeficiente de variación de 5.0%, pero en las plantas tratadas con PBZ disminuyó 1.2% con respecto a las del testigo (Cuadro 7).

La anchura de las hojas de 'Puma' tuvo una media de 9.6 cm con desviación estándar de 1.3 cm y coeficiente de variación de 13.5%, mientras que en '30P49' la media fue de 10.2 cm con desviación estándar de 0.6 cm y coeficiente de variación de 6.3%, en tanto que en 'DK2020' los valores fueron de 9.8 cm, 0.8 cm y 8.4%, respectivamente. Sin embargo esta variable fue ligeramente menor en 'Puma' y '30P49', mientras que en 'DK2020' fue a la inversa.

Cuadro 7. Longitud y anchura de hojas en tres cultivares de maíz. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Puma		30P49		DK2020	
	Long.	Anchura	Long.	Anchura	Long.	Anchura
0 (testigo)	92.6 a	9.5 a	84.8 a	10.4 a	95.2 a	9.8 a
150	95.5 a	10.2 a	83.8 a	10.1 a	93.7 a	9.7 a
300	95.5 a	9.3 a	-----	-----	-----	-----
450	95.6 a	9.5 a	-----	-----	-----	-----
DMSH	3.8	1.0	2.7	0.4	2.7	0.5

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

El contenido de proteína se observó sin diferencias significativas en el cultivar 'Puma', y el incremento máximo que se obtuvo fue de 6.1% en el grano de las plantas en que se aplicaron 300 mg de PBZ L⁻¹ de agua, en comparación con el contenido proteico del testigo (Cuadro 8). Sin embargo, la correlación del contenido de proteína con el

rendimiento de grano fue negativa ($r=-0.67$), lo cual coincide con lo reportado por Loffler *et al.* (1985), ya que estos reportaron correlación negativa del contenido de proteína y el rendimiento de grano en trigo.

El rendimiento del cultivar 'Puma' tuvo una media general de 10.293 t, con desviación estándar de 1.791 t y un coeficiente de variación de 17.4%, pero el mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 450 mg de PBZ, cuyo incremento fue 15.7% más en relación con el testigo; sin embargo, con 150 y 300 mg de PBZ el rendimiento disminuyó 24.1% y 11.1%, respectivamente (Cuadro 8).

Con el cultivar '30P49' el promedio general de rendimiento fue de 9.834 t, con una desviación estándar de 1.521 y coeficiente de variación 15.5%; sin embargo, con los 150 mg de PBZ que se aplicaron sólo se logró un incremento de 2.1% con respecto al testigo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Contenido de proteína (%) del grano del cultivar 'Puma' y rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de grano de tres cultivares de maíz. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares			
	PUMA		30P49	DK2020
	Proteína	Rendimiento	Rendimiento	Rendimiento
0 (testigo)	11.4 a	10.8 ab	9.7 a	11.0 a
150	11.7 a	8.2 b	9.9 a	11.1 a
300	12.1 a	9.6 ab	-----	-----
450	11.3 a	12.5 a	-----	-----
DMSH	4.3	3.4	3.4	4.8

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Mientras que el cultivar 'DK2020' expresó un rendimiento promedio general de 11.077 t, con desviación estándar de 2.744 t y un coeficiente de variación de 24.8%, pero con 150 mg de PBZ, única dosis aplicada, el incremento fue de apenas 0.9% comparado con el testigo (Cuadro 8).

Lo anterior permitió deducir que la respuesta de los cultivares de maíz varía según la dosis de PBZ y el manejo que se les dé, como en el caso del cultivar 'Puma', pero también dicha respuesta es diferente entre cultivares, lo cual es de comprenderse si se toma en cuenta que son genotipos diferentes, ya que los progenitores son distintos.

VIII. CONCLUSIONES

El PBZ ocasionó incremento en el contenido de clorofila del cultivar 'Puma' evaluado en dos ciclos agrícolas; asimismo, en los cultivares '30P49' y 'DK2020' que fueron evaluados sólo en un ciclo agrícola.

El PBZ no disminuyó la altura de plantas ni la longitud de hojas de los cultivares 'Puma', '30p49' y 'DK2020', aunque la anchura de hojas ocurrió con ligera disminución sin diferencias estadísticas.

El contenido de clorofila no se incrementó en la medida que se fueron acumulando mg de PBZ sobre el follaje, ya que los promedios observados no variaron estadísticamente entre las poblaciones de plantas tratadas.

El rendimiento de grano tuvo respuesta al PBZ en el cultivar 'Puma', en el primer ciclo en que se evaluó sólo con diferencias numéricas (valores absolutos), en tanto que en el segundo ciclo se expresó con diferencias estadísticas; sin embargo, en los cultivares '30P49' y 'DK2020' las diferencias sólo fueron ligeras numéricamente, lo que quizás se deba a que el potencial genético para el rendimiento del grano no sea muy superior al obtenido.

El PBZ produjo efectos indirectos en la disminución del calentamiento global a través de los cultivares evaluados, ya que en todos se incrementó el contenido de clorofila, la cual requiere del carbono que contiene el CO_2 que se encuentra en la atmósfera; sin embargo, los efectos que ocasionó en dicho calentamiento a través de la acumulación de carbono en el grano, variaron de un cultivar a otro.

IX. LITERATURA CITADA

- Aldrich, R. S. y Leng R. E. 1974. Producción Moderna del Maíz. Editorial Hemisferio Sur. pp: 1-13.
- Allard, R. W. 1967. Principios de la Mejora Genética de las Plantas. José L. Montoya (Trad.). EDICIONES OMEGA, S. A. Barcelona, España. Primera Edición. 498 p.
- Anónimo. 2005. <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/ibc99/botanica/glosario/glosafi.htm>. Consultado el 28 de febrero de 2005.
- Arellano C., L., Peña L. y Flores R. J. 1992. Control químico en la altura del *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* G.) para su producción en maceta. Revista Chapingo 78: 14-18.
- 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.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. Primera edición en español. A. G. T. Editor, S. A., México, D. F. pp: 189-389.
- Brauer, H. O. 1973. Fitogenética Aplicada. Editorial LIMUSA, S. A. México, D. F. 518 p.

- Burch, P. L., Wells R. H., 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.
- CAADES. 2007. Producción de los principales cultivos en el Estado de Sinaloa. Centro de Estadísticas Agropecuarias.
- Campbell, G. M. 1976. Effect of ethephon and SADH on quality of clipped and non-clipped tomato transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(6): 648-651.
- 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.
- Clouse, S. D., and Sasse J. M. 1998. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 427-451.
- 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 ¹⁴C-labelled paclobutrazol in Nemaguard peach seedlings. *HortScience* 23: 196-200.
- Erez, A. 1984. Dwarfing peaches by pruning and paclobutrazol. *Acta hort.* 146: 1235-1241.
- Esaú, K. 1959. *Anatomía Vegetal*. José Pons Rosell (Trad.). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. pp: 456-484.

- Esaú, K. 1976. Anatomía Vegetal. José Pons Rosell (Trad.). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. pp: 453-512.
- Esaú, K. 1979. Anatomía vegetal. José Pons Rosell (Trad.). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 604 p.
- Giafagna, 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.
- 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.
- 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.
- Keever, G. J., and McGuire J. A. 1991. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, AL 36840, USA. Hights of agricultural research, Alabama Agricultural Experiment Station. 38: 3-16.
- Krishnamoorthy, H. N. 1981. Plant Growth Substances. Including Applications in Agriculture. Editorial McGraw-Hill Publishing Company Limited, USA. 214 p.

- Laboratorio Químico de Productos Naturales. 1991. Origen del maíz. *In*: La importancia biológica de los iones inorgánicos. Edit. Universidad Michoacana. <http://farma.gfb.umich.mx/origmaiz.htm>.
- LeCain, D. R., Schekel K. A., and Walple, R. L. 1986. Growth retarding effects of paclobutrazol on weeping fig. *HortScience* 21: 1150-1152.
- Loffler, C. M., T. L. Rauch and R. H. Busch. 1985. Grain and plant protein relationships in hard red spring wheat. *Crop Sci.* 25: 521-524.
- 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.
- Lozoya S., H. 1992. Inhibidores de crecimiento para margarita (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) en maceta. I. Alar y Cycocel. *Revista Chapingo* 78: 20-23.
- Mansour, H. A., and Poole R. T. 1987. Trials with growth retardant on ornamental foliage plants. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 100: 375-378.
- 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). *Revista Chapingo* 78: 11-13.
- Maroto B., J. V. 2000. *Horticultura Herbácea Especial*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 359.
- McDaniel, 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.

- McDaniel, G. L. 1990. Postharvest high suppression of potted tulips with paclobutrazol. HortScience 25(2): 212-214.
- Mitchell, J. W., Ezell, B. D. and, Wilcox, M. 1949. Effect of p-chlorophenoxyacetic acid on the vitamin C content of snap beans following harvest. Science 109:202-203.
- Moore, T. M., and Schekel, K. A. 1985. GA₃ temporary reversal of growth retarding effects of paclobutrazol (PP333) on marigold 'First Landy' seedlings. HortScience 20: 126. (Abstr.).
- Moreno, M. E. 1984. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. México, D. F. pp. 75-102.
- 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.
- 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.

- McDaniel, G. L. 1990. Postharvest height suppression of potted tulips with paclobutrazol. HortScience 25(2): 212-214.
- Mitchell, J. W., Ezell, B. D. and, Wilcox, M. 1949. Effect of p-chlorophenoxyacetic acid on the vitamin C content of snap beans following harvest. Science 109:202-203.
- Moore, T. M., and Schekel, K. A. 1985. GA₃ temporary reversal of growth retarding effects of paclobutrazol (PP333) on marigold 'First Landy' seedlings. HortScience 20: 126. (Abstr.).
- Moreno, M. E. 1984. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. México, D. F. pp. 75-102.
- 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.
- 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.

- Poehlman, J. M. 1981. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Editorial Limusa, México D. F. pp: 131-132.
- Possingham, J. V. 1980. Plastid replication and development in the life cycle of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31: 113-129.
- 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.).
- Ray, P. M. 1980. La Planta Viviente. Editorial Continental, S. A. México, D. F. pp: 86-87.
- Richards, F. C., and W. W. Schwabe. 1969. Analysis of Growth; Behavior of Plants and Their Organs. *In: Plant Physiology Vol. 5 A.* pp: 79-116.
- Rojas G., M. 1982. Manual Teórico-Práctico de Herbicidas y Fitorreguladores. Editorial Limusa. 116 p.
- Rojas G., M. y Rovalo M. 1985. Fisiología Vegetal Aplicada. Tercera Edición. Ed. McGraw-Hill. México, D. F. 302 p.
- Rojas G., M. y Ramírez H. 1991. Control Hormonal del Desarrollo de las Plantas, Fisiología-Tecnología Experimentación. Editorial Limusa. 239 p.
- Ruiz O. M., Nieto R. D. y Larios R. I. 1985. Tratado Elemental de Botánica. Editorial E.C.L.A.L.S.A. México D. F. pp.: 175-176.
- Salisbury, F. B. y Ross C. W. 2000. Fisiología de las Plantas. Paraninfo Thomson Learning, Madrid, España, 988 p.
- Sánchez G., p. y Carballo C. P. 1983. Efecto del tamaño de semilla y de la profundidad de siembra en el rendimiento y características agronómicas del maíz. *Revista Chapingo*, 40: 60-64.

- Sanderson, K. C., Martin, Jr. W. C., and McGuire J. 1988. Comparison of paclobutrazol tablets, drenches, gels, capsules, and sprays on *Chrysanthemum* 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.
- Sterret, J. P. 1985. Paclobutrazol: A promising growth inhibitor for injection 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. 2004. World Agricultural Production. USDA. Circular Series WAP 06-00. pp: 10-11.
- 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. 1989. Control growth of *Hibiscus* by treating unrooted cuttings and potted plants with uniconazole and paclobutrazol. ASHS 1989 Annu. Mtg., Tulsa, Okla., Prog. & Abstr. P.129.
- 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.

- Wilfred, G. J. 1978. Height regulation of poinsettia with a growth retardant incorporated in the soil medium. Proc. Fla. St. Hort. Soc. 91: 220-222.
- Wilfred, 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 Teubner, F. G. 1956. Cold exposure of tomato seedlings and flower formation. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 67:369-376.
- Wittwer, S. H., and Tolbert, N. E. 1960. (2-chloroethyl) trimethylammonium 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.
- Yokota, T. 1997. The structure, biosynthesis and function of brassinosteroids. Trends Plant Sci. 2:137-143.

ANEXO. ARTÍCULO CIENTÍFICO

CLOROFILA, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ EN RESPUESTA AL PACLOBUTRAZOL APLICADO HASTA EN TRES ETAPAS FENOLÓGICAS

CHLOROPHYLL, GROWTH AND YIELD OF MAIZE IN RESPONSE TO APPLIED UP IN THREE STAGES PHENOLOGICAL PACLOBUTRAZOL

RESUMEN

Esta investigación se hizo con el objetivo de conocer el efecto que ocasiona el paclobutrazol (PBZ) en el contenido de clorofila, crecimiento, proteína y rendimiento de grano del maíz. Se utilizaron los cultivares 'Puma', '30P49' y 'DK2020', el primero se sembró en el ciclo agrícola 2008-2009 y los tres en el 2009-2010, en un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Se fertilizó con 200 kg de N a partir de urea en 2008-2009 y con 250 en 2009-2010. Las dosis de PBZ fueron 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua, mismas que se aplicaron sobre el follaje y se completaron con una, dos y tres aplicaciones, respectivamente, con solución de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua. La clorofila se midió con Spad-502 y la proteína con el método Kjeldahl. En el cultivar 'Puma', el contenido de clorofila se incrementó de 3.9-5.9% en 2008-2009 y de 3.2-9.5% en 2009-2010; mientras que en '30P49' y 'DK2020' los incrementos fueron de 9.5 y 16.9%. El PBZ no disminuyó la altura de plantas en ningún cultivar, pero ocasionó ligeros incrementos (3.2-3.6%) en longitud de hojas de 'Puma', y el ancho de hojas sólo se incrementó 7.4% con 150 mg de PBZ, y en '30P49' y 'DK2020' las dos variables no cambiaron. El contenido de proteína en 'Puma' se incrementó 6.1% sólo con 300 mg de PBZ, con correlación de -0.67 con el rendimiento. El rendimiento de grano en 'Puma' se

incrementó 12.6% con 150 mg de PBZ en 2008-2009 y 15.7% con 450 mg de PBZ en 2009-2010, mientras que en '30P49' y 'DK2020' no varió.

ABSTRACT

This research was made with objective of know the effect that causes paclobutrazol (PBZ) in the content of chlorophyll, growth, protein and corn grain yield. Used cultivars 'Puma', '30P49' and 'DK2020', the first was sowed in the agricultural cycle 2008-2009 and the three in 2009-2010, in a design of complete blocks random with five repetitions. He fertilized with 200 kg of N of urea in 2008-2009 and 250 in 2009-2010. PBZ doses were 150, 300 and 450 mg of PBZ L⁻¹ water, same that were applied on the foliage and were completed with one, two and three applications, respectively, with 150 mg of PBZ L⁻¹ of water solution. Chlorophyll is measured with Spad-502 and the protein to the Kjeldahl method. In the cultivar 'Puma' chlorophyll content increased from 3.9-5.9% in 2008-2009 and 3.2-9.5% in 2009-2010; '30P49' and 'DK2020' increases were 9.5 and 16.9%. The PBZ did not decrease the height of plants in any cultivate, but occasioned slight increases (3.2-3.6%) length 'Puma' leaves and leaf width only increased 7.4% with 150 mg of PBZ, in '30P49' and 'DK2020' both variables did not change. 'Puma' protein content increased 6.1% only with 300 mg of PBZ, with correlation of -0.67 with yield. Grain yield in 'Puma' increased 12.6% with 150 mg of PBZ in 2008-2009 and 15.7% with 450 mg of PBZ in 2009-2010, while in '30P49' and 'DK2020' unchanged.

INTRODUCCIÓN

El paclobutrazol es un derivado de la pirimidina que ha mostrado actividad para controlar el crecimiento en un amplio rango de plantas (McDaniel, 1983; McDaniel, 1986; Shanks, 1980; Sterrett, 1985); 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 (Barrett y Nell, 1989; Mansour y Poole, 1987; Wang y Blessington, 1990), pero su efectividad se ha manifestado a través de dosis superiores a las requeridas de uniconazole o ancymidol para tener la misma reducción (Barrett y Nell, 1989; Wang, 1989; Wang y Blessington, 1990 y McDaniel, 1990).

Según Barrett y Bartuska (1982), el efecto de paclobutrazol en la elongación del tallo depende del lugar de aplicación, aunque algunos estudios han indicado que es translocado en 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).

La estructura del paclobutrazol es similar a la del brasinazole; sin embargo, éste último es un potente inhibidor de la biosíntesis del brasinosteroide, el que a su vez es una sustancia inductora de enanismo en tomate, chícharo y *Arabidopsis*, que últimamente ha sido clasificada como una nueva clase de fitohormona (Yokota, 1997; Clouse y Sasse, 1998).

Los triazoles, como el paclobutrazol, 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 paclobutrazol, 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, fue menos efectivo que cuando fue humedecido el suelo, para controlar la altura de crisantemo (Sanderson *et al.*, 1988).

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.

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).

Plantas tratadas con retardantes de crecimiento desarrollan tallos gruesos y hojas de color verde oscuro, con cambios similares a los producidos al exponer las plantas a una iluminación intensa y bajas temperaturas (Wittwer y Teubner, 1956). El cycocel, cloruro de clormecuat o CCC, es usado comercialmente en cultivos de cereales en Europa para reducir la altura de plantas y tener tallos más gruesos y fuertes (Rojas, 1982).

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

Pisarczyk y Splittstoesser (1979), Wittwer y Tolbert (1960) y Bailey *et al.* (1986), realizaron estudios sobre la acción de diversos retardantes de crecimiento en plantas de tomate y demostraron que es factible en la floración de las plantas retrasar y regular el trasplante, sin ejercer efectos negativos, los resultados obtenidos demostraron que con cloromequat, daminocida y ethephon, se puede retrasar hasta 15 días el trasplante, sin afectar la precocidad de flores y frutos en relación con el testigo, sin embargo, retardantes de crecimiento como CCC y los compuestos relacionados (2, bromoetil) (trimetil amonio-bromuro) y (2, 3-n-propileno) trimetil amonio bromuro en aplicaciones a plantas de tomate en concentraciones de 10⁻³ a 10⁻⁷ molar, modifican el crecimiento y fomentan la floración temprana. Pisarczyk y Splittstoesser (1979), Wittwer 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 ancimidol y paclobutrazol y 10,000 mL L⁻¹ de daminozide.

Mariscal *et al.* (1992) mencionan que con aspersiones foliares semanales de 5,000 mL L⁻¹ de daminozide se puede acortar los entrenudos y la iniciación floral puede ser inhibida en las variedades Rose Supreme y Sister Therese de hortensias. El daminocida (B-9R) se caracteriza por inducir floración, reducir el crecimiento, ser de baja toxicidad y fácilmente absorbible, teniéndose como efecto primario el inhibir la síntesis del ácido indolacético (Arellano *et al.*, 1992).

En plantas de *Zantedeschia* cultivadas como ornamentales en macetas, la altura se puede controlar mediante el retardante de crecimiento llamado paclobutrazol (Tjia, 1987), y dicho producto puede interactuar con GA₃ 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*), plantas leguminosas medicinales, el paclobutrazol 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 Hanakiso (Hamada *et al.*, 1990).

En *Ficus benjamina*, la producción y el tamaño de la hoja fueron caracteres reducidos cuando el medio fue humedecido con paclobutrazol (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 (Wood, 1988).

Debido a que el paclobutrazol 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 de GA₃ por el paclobutrazol 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).

El paclobutrazol es un activo inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico (Dalziel y Lawrence, 1984; Tadao *et al.*, 2000); ha sido reportado para retardar la elongación del tallo, y en ocasiones para promover la floración en plantas ornamentales leñosas (Bailey *et al.*, 1986; Goultson y Shearing, 1985; Wilkinson y Richards, 1988).

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 paclobutrazol, combinado con 75 y 150 kg de N ha⁻¹, respectivamente, el paclobutrazol 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 aquellas que no fueron tratadas con paclobutrazol (Iremiren *et al.*, 2002).

Imbibiendo semillas de trigo durante 24 horas en solución con 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 fríos o en refrigerador, el paclobutrazol 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 paclobutrazol ocasionó que los cloroplastos fueran más grandes; asimismo, que se incrementará el número de lamelas del estroma y de pilas de grana (Sopher *et al.*, 1999).

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 estroma con enzimas que convierten el CO_2 en carbohidratos, especialmente en almidón, tilacoides (lamelas) y grana (pilas de tilacoides) constituidos por dos membranas, en donde se almacena la clorofila (Salisbury y Ross, 2000).

Por lo que el objetivo fue determinar el efecto que produce el paclobutrazol en contenido de clorofila, altura, diámetro del tallo, longitud y anchura de hoja, peso y volumen de 1000 granos, contenido de proteína y rendimiento de grano por hectárea, aplicado en tres etapas fenológicas mediante las dosis de 150, 300 y 450 mg L^{-1} de agua.

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, con coordenadas $24^{\circ} 37' 29''$ N y $107^{\circ} 26' 36''$ O, y durante el ciclo agrícola 2008-2009 se utilizó la variedad Puma de la empresa Asgrow; mientras que durante el ciclo 2009-2010 se utilizaron las variedades 'Puma', '30P49' y 'DK2020'. Durante el ciclo 2008-2009, la siembra se llevó a cabo el 19 de diciembre de 2008, en tanto que en el ciclo 2009-2010 la siembra se hizo el 8 de diciembre de 2009. En los dos casos en hileras sencillas y bajo condiciones de campo abierto, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones.

Para la variedad Puma en el ciclo 2008-2009, las parcelas experimentales constaron de cuatro surcos de 40 m de largo y las parcelas útiles fueron los dos surcos centrales, con

separación de 0.80 m entre sí, sobre los cuales se hizo la siembra a tierra venida, ya que el suelo es de textura arcillosa y se dio un riego por gravedad de presiembra, así como los riegos de auxilio por gravedad (tres) necesarios para inducir el crecimiento y desarrollo de las plantas. Todas las parcelas experimentales del primer experimento fueron manejadas con 200 kg de N ha⁻¹ a partir de urea, aplicando el 100% al momento de la escarda, momentos antes del primer riego de auxilio; además, las plantas fueron protegidas con el insecticida Paratión Metílico 720 para combatir el gusano cogollero. Previo a la siembra se hizo 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, RAS=1.1, N=147 kg ha⁻¹ y P=28.7 kg ha⁻¹.

Sin embargo, en el ciclo 2009-2010 la siembra también se hizo en surcos separados a 0.80 m, pero en parcelas experimentales de 5.0 m de largo, en cinco repeticiones. En donde el manejo incluyó la fertilización con 250 kg de N a partir de urea, aplicación de cuatro riegos de auxilio por gravedad, y aplicación de Paratión Metílico 720 para controlar el gusano cogollero.

En los dos ciclos, la densidad de población fue de 11 plantas por metro lineal, lo que ocasionó una población de 137,500 plantas por hectárea, lo cual resulta de multiplicar 11 plantas X 100 m de largo de los surcos X 125 surcos que se pueden construir en 100 m de ancho de la parcela.

Las variables de estudio fueron: contenido de clorofila, altura de plantas, diámetro del tallo, peso seco de raíces y de la parte aérea en condiciones de macetas en invernadero, longitud y anchura de las hojas, peso y volumen de 1000 granos, contenido de proteína y rendimiento por hectárea. En tanto que los tratamientos aplicados fueron las dosis de 0 (testigo), 150, 300, 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua. La dosis

de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua se aplicó en una sola ocasión, mientras que las de 300 y 450 se completaron a través de dos y tres aplicaciones con 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua, respectivamente, con una bomba manual. La primera aplicación del paclobutrazol se hizo cuando las plantas tuvieron cuatro hojas verdaderas, mientras que la segunda y tercera se hicieron ocho días después de la que le precedió, de tal manera que las plantas tuvieron seis y ocho hojas verdaderas, respectivamente.

Todas las variables, excepto el contenido de proteína y el peso seco de raíces y de la parte aérea, se evaluaron en una muestra de 20 plantas seleccionadas al azar. El contenido de clorofila se midió en Unidades Spad-502, en la parte media de la lámina foliar, específicamente a un lado de la nervadura central, y los datos se recabaron ocho días después de cada aplicación, y en aquellos casos donde se realizaron hasta tres aplicaciones la medición de clorofila se realizó antes de la siguiente aplicación; la altura se midió a partir de la superficie del suelo hasta la base de la inflorescencia masculina; el peso seco de la raíces y de la parte aérea se midió con báscula de precisión; el diámetro del tallo se midió utilizando vernier en el entrenudo localizado entre la segunda y tercera hoja verdadera, considerando la parte más ensanchada del mismo; la longitud y anchura de las hojas se midieron con cinta métrica en la octava hoja de abajo hacia arriba, la primera desde la vaina hasta el ápice de las hojas, y la segunda en la parte central de la lámina foliar.

El peso de 1000 granos se obtuvo con una báscula de precisión marca Ohaus con capacidad de 2610 g; el volumen 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; para el contenido de proteína se utilizó el método Kjeldahl, y sólo se hizo en el grano de la variedad 'Puma' que se sembró en el ciclo agrícola 2009-2010; en tanto que

el rendimiento se determinó en base a la producción obtenida en la cantidad de m² de las parcelas útiles.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos del primer muestreo del contenido de clorofila de la variedad Puma sembrada durante el ciclo agrícola 2008-2009, se observó que la concentración de ésta fue con una media general de 33.6 Unidades Spad, con respecto a la cual los datos se desviaron 4.2 Unidades Spad, lo que a su vez representó el 12.8% en relación a la media general. La mayor concentración de clorofila se detectó en las plantas tratadas con 150, 300 y 450 mg de PBZ, lo cual superó en los respectivos 1.8, 3.9 y 5.8% a la cantidad de clorofila de las plantas testigo, sin que los promedios obtenidos de las plantas tratadas con PBZ y el de las plantas testigo fueran estadísticamente diferentes (Cuadro 1), de tal manera que estos resultados coinciden con los de Iremiren *et al.* (2002), toda vez que estos autores observaron que las plantas de maíz tratadas con paclobutrazol también fueron más verdes que las plantas testigo.

A través del segundo muestreo se lograron detectar diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre las medias de concentración de clorofila de las plantas con PBZ y las testigo (Cuadro 1); el promedio general y la desviación estándar fueron de 38.9 y 4.1 Unidades Spad, respectivamente, por lo que el coeficiente de variación fue de 10.5%, de tal manera que con 150, 300 ó 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua, los respectivos incrementos fueron de 8.6, 6.8 y 7.3%. Lo anterior se corresponde con la

tendencia observada a través del primer muestreo, ya que con éste también se detectaron incrementos en relación a la media del testigo.

Con el tercer muestreo, los resultados indicaron un promedio general de 37.9 Unidades Spad, una desviación estándar de 4.5 y coeficiente de variación de 11.8%. En tanto que los promedios obtenidos de las plantas tratadas con PBZ no difirieron estadísticamente entre sí ni con los del testigo, pero en valores absolutos (evidencias numéricas) superaron a éste en 3.8, 3.8 y 4.3%, respectivamente (Cuadro 1). De tal manera que como era obvio, los tratamientos de 150, 300 ó 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua indujeron promedios generales en los respectivos incrementos de 3.9, 4.8 y 5.9% en relación a la concentración de clorofila del testigo.

Cuadro 1. Concentración de clorofila en plantas de maíz cultivar 'Puma' tratado con paclobutrazol en las etapas fenológicas de cuatro, seis y ocho hojas verdaderas. Ciclo agrícola 2008-2009.

Mg de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Clorofila			Promedio general
	1 ^{er} muestreo	2 ^{do} muestreo	3 ^{er} muestreo	
0 (testigo)	32.6 a	36.8 b	36.8 a	35.4 a
150	33.2 a	40.0 a	38.2 a	36.8 a
300	33.9 a	39.3 a	38.2 a	37.1 a
450	34.5 a	39.5 a	38.4 a	37.5 a
DMSH	2.2	2.1	2.3	2.2

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Los resultados obtenidos permitieron observar que el PBZ incrementó el contenido de clorofila, pero esta sustancia no se modificó en su concentración conforme se hicieron aplicaciones acumulativas con dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua hasta completar 300 ó 450 mg en las plantas de las parcelas designadas para dichas cantidades.

De manera general la altura de las plantas fue de 2.26 m, con desviación estándar de 0.15 m y coeficiente de variación de 6.6%. No obstante, las medias de altura que se obtuvieron de las plantas tratadas con 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua fueron estadísticamente iguales (Cuadro 2), donde se nota que las plantas con paclobutrazol tuvieron una altura que se incrementó de 0.9-2% con respecto a las plantas testigo. De lo anterior se deduce que las plantas con PBZ fueron más eficientes para formar materia seca, así como en el gasto de energía y la fijación de CO₂, y contribuyeron más en la conservación del medio ambiente y, en esa medida, en la disminución del calentamiento global. Además, la respuesta en la altura indica que el PBZ en las tres dosis que se utilizaron no retardó y, mucho menos, disminuyó este carácter, lo que coincide con los resultados de Partida *et al.* (2007) y Velázquez *et al.* (2008), ya que éstos observaron incrementos en la altura de plantas de tomate y chiles, respectivamente, cuando aplicaron dosis de 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua.

El diámetro del tallo se expresó con una media general de 2.6 cm, con desviación estándar de 0.4 cm y coeficiente de variación de 15.4%; en tanto que los promedios obtenidos con cada tratamiento fueron los que se observan en el Cuadro 2, con los que se estimaron incrementos de 5.5, 0.8 y 4.3% en las plantas tratadas con 150, 300 ó 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua con respecto al diámetro de tallos de las plantas testigo.

La longitud de hojas ocurrió con una media general de 97.8 cm, con una desviación estándar de 4.0 cm y un coeficiente de variación igual a 4.1%, y no obstante que en

esta característica no se observaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2), en las plantas tratadas con paclobutrazol hubo incrementos que oscilaron de 0.5-1.5 cm en relación a la longitud de hojas en las plantas testigo. Los incrementos referidos indican mayor producción de materia seca y área foliar y, en consecuencia, mayor eficiencia en la fijación de CO₂, mejoramiento del proceso fotosintético y mayor influencia de las plantas en la disminución del calentamiento global.

La anchura de las hojas tuvo un promedio general de 8.5 cm, con una desviación estándar de 0.7 cm y un coeficiente de variación de 8.2%; pero entre los promedios obtenidos de las poblaciones de plantas tratadas y no tratadas (testigo) no hubo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2); no obstante, las hojas de las plantas con PBZ fueron ligeramente menos anchas (de 1.6-4.4%) que las del testigo, lo que indica que el PBZ hizo más eficiente a las plantas por el contenido de clorofila y el proceso fotosintético que por el área foliar, ya que de acuerdo a Sopher *et al.* (1999), el PBZ ocasiona que en maíz (en los cultivares '3902' de Pioneer y 'Orgullo 5') los cloroplastos se hagan más grandes, se incremente el número de lamelas del estroma, y el de pilas de grana contenidos, según Salisbury y Ross (2000), en unos cuantos cientos de cloroplastos en cada célula de la hoja madura, de tal manera que en cloroplastos más grandes, con mayor número de lamelas y pilas de grana, se almacena más clorofila en la doble membrana de éstas.

Cuadro 2. Promedios de altura, diámetro de tallos, longitud y anchura de hojas de plantas de maíz cv 'Puma' tratada con paclobutrazol, ciclo agrícola 2008-2009.

Mg de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Altura (m)	Diámetro de tallos (cm)	Longitud de hojas (cm)	Anchura de hojas (cm)
0 (testigo)	2.24 a	2.56 a	96.99 a	8.70 a
150	2.26 a	2.70 a	97.47 a	8.32 a
300	2.26 a	2.58 a	98.33 a	8.56 a
450	2.29 a	2.67 a	98.37 a	8.46 a
DMSH	0.07	0.19	2.07	0.39

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Los incrementos observados en el diámetro de tallos, longitud y anchura de hojas en las plantas tratadas con PBZ, también tienen relación con los resultados de Partida *et al.* (2007), Velázquez *et al.* (2008), ya que los primeros obtuvieron mayor producción de materia seca en las raíces y la parte aérea de pimiento morrón y berenjena tratadas con PBZ; mientras que los segundos reportaron incrementos del crecimiento del tallo en plantas de tomate que fueron asperjadas con dosis de 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua. En tanto que los resultados en relación a las disminuciones del área foliar también tienen relación con los de Burch *et al.* (1996), toda vez que ellos observaron que el PBZ reduce la expansión de hojas en muchas especies de árboles.

El peso de 1000 granos tuvo una media general de 358.4 g; la desviación estándar fue de 26.9 g y el coeficiente de variación de 7.5%. Este carácter se incrementó 1.4, 1.4 y 3.2% con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua (Cuadro 3). La media general del volumen de 1000 granos fue de 293 cm³, la desviación estándar

de 27.3 cm³ y el coeficiente de variación de 9.3%, y esta característica se incrementó 0.7, 4.9 y 3.5 con las dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ L⁻¹ de agua en relación al volumen promedio observado en los granos del testigo (Cuadro 3). Mientras que el rendimiento de grano se expresó sin diferencias estadísticas con una media general de 8.783, desviación estándar de 1.9 y coeficiente de variación de 19.8%; carácter en el que los incrementos fueron de 12.6, 9.0 y 12.6% con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ en relación al que se obtuvo en el testigo (Cuadro 3). De tal manera que las diferencias numéricas o en porcentajes indican que las plantas tratadas con PBZ fueron más eficientes para fijar CO₂ y acumular materia seca en el grano u órgano de cosecha, por lo que esta tecnología puede ser una alternativa para incrementar la producción de los sistemas de producción agrícola de maíz, a la vez que por inducir mayor fijación de CO₂, también puede ser una tecnología que indirectamente contribuya a que disminuya el calentamiento global.

Cuadro 3. Peso, volumen y rendimiento de grano de la variedad 'Puma'. Ciclo agrícola 2008-2009.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Peso de 1000 granos (g)	Volumen de 1000 granos (cm ³)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
0 (testigo)	350.7 a	284 a	8.091 a
150	355.5 a	286 a	9.114 a
300	355.6 a	298 a	8.818 a
450	361.9 a	294 a	9.111 a
DMSH	50.6	51.3	1.322

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey \leq 0.05).

Al revisar nuevamente los efectos producidos por el PBZ en el contenido de clorofila de los tres cultivares, en 'Puma' se observó una media general de 38.9 Unidades Spad con una desviación estándar de 3.4 Unidades Spad y un coeficiente de variación de 8.9% (Cuadro 4), por lo que la clorofila sólo se incrementó 1.8% con 300 mg de PBZ en relación al testigo.

En el cultivar '30P49' la media general fue de 36.3 Unidades Spad, una desviación estándar de 4.1 Unidades Spad y un coeficiente de variación de 11.3%; de tal manera que en este cultivar el contenido de clorofila no se incrementó en comparación con el testigo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Contenido de clorofila de tres cultivares tratados con PBZ. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares		
	PUMA	30P49	DK2020
0 (testigo)	34.8 b	34.8 b	34.4 b
150	38.1 a	38.1 a	36.7 a
300	35.9 a	-----	-----
450	37.8 a	-----	-----
DMSH	3.4	3.1	3.0

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

En el cultivar 'DK2020' la media general fue de 35.6 Unidades Spad con una desviación estándar de 5.7 Unidades Spad y un coeficiente de variación de 16.0%, de tal manera que en este cultivar también se incrementó la clorofila en 6.7% en las plantas con PBZ en relación al testigo (Cuadro 4). Lo anterior permitió confirmar que el PBZ incrementa

este carácter, sin que por éllo se modifique el potencial genético de rendimiento de grano.

En la altura de plantas de maíz, específicamente en los cultivares 'Puma', '30P49' y 'DK2020', sembrados el 8 de diciembre de 2009 (ciclo agrícola 2009-2010), se pudo observar que en la variedad 'Puma' la altura fue igual entre las plantas con 0 (testigo), 150, 300 ó 450 mg de PBZ (Cuadro 5); en el cultivar 'DK-2020' la altura también fue similar entre las del testigo y las que recibieron 150 mg de PBZ. Asimismo, entre las plantas del cultivar '30P49' tratado con la misma dosis de PBZ (150 mg) y las del testigo.

Cuadro 5. Altura de plantas de tres cultivares de maíz tratado con paclobutrazol en etapas de cuatro, seis y ocho hojas verdaderas en el cultivar 'Puma', y en la de cuatro para '30P49' y 'DK2020'. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares		
	PUMA	30P49	DK2020
0 (testigo)	1.90 a	2.04 a	2.05 a
150	1.90 a	2.03 a	2.02 a
300	1.91 a	-----	-----
450	1.82 a	-----	-----

DMSH

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Lo anterior permitió confirmar que el PBZ no disminuye dicho carácter en los tres cultivares utilizados, aplicándolo a partir de la cuarta hoja verdadera, ya que por ser un regulador de crecimiento que se conoce como inhibidor de las giberelinas en los puntos

de crecimiento, y porque éstas seguramente existen en mayor concentración en plantas con las etapas fenológicas consideradas en esta investigación, las que a su vez no fueron bloqueadas con las dosis de PBZ utilizadas.

El peso seco de raíces se observó con incremento de 12% con la dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua en el cultivar 'Puma' (Cuadro 6); de 22.8, 12.3 y 98.2% con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ en el cultivar '30P49'; y de 26.7% en el cultivar 'DK2020'; en tanto que el peso seco de la parte aérea también se incrementó 7.3% con la dosis de 150 mg de PBZ en el cultivar 'Puma'; 34.9 y 9.2% en el cultivar '30P49'; y 4.0 , 4.6 y 2.4 veces a la del testigo con las respectivas dosis de 150, 300 y 450 mg de PBZ en el cultivar 'DK2020' (Cuadro 6).

Cuadro 6. Peso seco de raíces y de la parte aérea de plantas de maíz cultivadas en macetas, y tratadas con PBZ en la etapa de seis hojas verdaderas. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Peso seco de raíces			Peso seco de la parte aérea		
	Puma	30P49	DK2020	Puma	30P49	DK2020
0 (testigo)	5.0 a	5.7 b	4.5 a	10.3 ab	10.9 b	2.0 c
150	5.6 a	7.0 b	4.5 a	11.7 a	14.7 a	8.1 ab
300	1.6 b	6.4 b	5.7 a	4.0 c	9.0 b	9.3 a
450	4.4 ab	11.3 a	2.1 b	7.3 bc	11.9 ab	4.9 bc
DMSH	2.7	3.0	1.3	3.7	3.4	3.8

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Lo anterior indica que estas partes de las plantas de maíz también se pueden mejorar para hacerlas más eficientes, como puede suceder a través de las raíces en la

absorción de agua y nutrimentos, lo cual puede repercutir en mayor eficiencia de las plantas en su metabolismo, para que puedan fijar más CO₂ y así producir más materia seca, como lo que se observó en el rendimiento de maíz.

La longitud de hojas en el cultivar 'Puma' tuvo un promedio general de 94.8 cm con desviación estándar de 5.2 cm y coeficiente de variación de 5.5%; No obstante, que sólo ocurrieron diferencias numéricas la longitud se incremento de 3.1-3.2% con 150 ó 450 mg de PBZ en comparación con la longitud de hojas del testigo (Cuadro 7).

En el cultivar 'DK2020' tuvo una media general de 94.4 cm con una desviación estándar de 4.1 cm y un coeficiente de variación de 4.4%; sin embargo, esta variable disminuyó 1.6% en las plantas tratadas con 150 mg de PBZ comparado con el testigo. Mientras que en '30P49' la media general fue de 84.3 cm, la desviación estándar 4.2 cm y el coeficiente de variación de 5.0%, pero en las plantas tratadas con PBZ disminuyó 1.2% con respecto a las del testigo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Longitud y anchura de hojas en tres cultivares de maíz. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Puma		30P49		DK2020	
	Long.	Anchura	Long.	Anchura	Long.	Anchura
0 (testigo)	92.6 a	9.5 a	84.8 a	10.4 a	95.2 a	9.8 a
150	95.5 a	10.2 a	83.8 a	10.1 a	93.7 a	9.7 a
300	95.5 a	9.3 a	-----	-----	-----	-----
450	95.6 a	9.5 a	-----	-----	-----	-----
DMSH	3.8	1.0	2.7	0.4	2.7	0.5

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

La anchura de las hojas de 'Puma' tuvo una media de 9.6 cm con desviación estándar de 1.3 cm y coeficiente de variación de 13.5%, mientras que en '30P49' la media fue de 10.2 cm con desviación estándar de 0.6 cm y coeficiente de variación de 6.3%, en tanto que en 'DK2020' los valores fueron de 9.8 cm, 0.8 cm y 8.4%, respectivamente. Sin embargo esta variable fue ligeramente menor en 'Puma' y '30P49', mientras que en 'DK2020' fue a la inversa.

El contenido de proteína se observó sin diferencias significativas en el cultivar 'Puma', y el incremento máximo que se obtuvo fue de 6.1% en el grano de las plantas en que se aplicaron 300 mg de PBZ L⁻¹ de agua, en comparación con el contenido proteico del testigo (Cuadro 8). Sin embargo, la correlación del contenido de proteína con el rendimiento de grano fue negativa ($r=-0.67$), lo cual coincide con lo reportado por Loffler *et al.* (1985), ya que estos reportaron correlación negativa del contenido de proteína y el rendimiento de grano en trigo.

El rendimiento del cultivar 'Puma' tuvo una media general de 10.293 t, con desviación estándar de 1.791 t y un coeficiente de variación de 17.4%, pero el mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 450 mg de PBZ, cuyo incremento fue 15.7% más en relación con el testigo; sin embargo, con 150 y 300 mg de PBZ el rendimiento disminuyó 24.1% y 11.1%, respectivamente (Cuadro 8).

Con el cultivar '30P49' el promedio general de rendimiento fue de 9.834 t, con una desviación estándar de 1.521 y coeficiente de variación 15.5%; sin embargo, con los 150 mg de PBZ que se aplicaron sólo se logró un incremento de 2.1% con respecto al testigo (Cuadro 8).

Mientras que el cultivar 'DK2020' expresó un rendimiento promedio general de 11.077 t, con desviación estándar de 2.744 t y un coeficiente de variación de 24.8%, pero con

150 mg de PBZ, única dosis aplicada, el incremento fue de apenas 0.9% comparado con el testigo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Contenido de proteína (%) del grano del cultivar 'Puma' y rendimiento (t ha⁻¹) de grano de tres cultivares de maíz. Ciclo agrícola 2009-2010.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares			
	PUMA		30P49	DK2020
	Proteína	Rendimiento	Rendimiento	Rendimiento
0 (testigo)	11.4 a	10.8 ab	9.7 a	11.0 a
150	11.7 a	8.2 b	9.9 a	11.1 a
300	12.1 a	9.6 ab	-----	-----
450	11.3 a	12.5 a	-----	-----
DMSH	4.3	3.4	3.4	4.8

Medias con letras iguales en la misma columna son iguales (Tukey ≤ 0.05).

Lo anterior permitió deducir que la respuesta de los cultivares de maíz varía según la dosis de PBZ y el manejo que se les dé, como en el caso del cultivar 'Puma', pero también dicha respuesta es diferente entre cultivares, lo cual es de comprenderse si se toma en cuenta que son genotipos diferentes, ya que los progenitores son distintos.

CONCLUSIONES

El PBZ ocasionó incremento en el contenido de clorofila del cultivar 'Puma' evaluado en dos ciclos agrícolas; asimismo, en los cultivares '30P49' y 'DK2020' que fueron evaluados sólo en un ciclo agrícola.

El contenido de clorofila no se incrementó en la medida que se fueron acumulando mg de PBZ sobre el follaje, ya que los promedios observados en los ciclos 2008-2009 y 2009-2010 no variaron estadísticamente entre las poblaciones de plantas tratadas.

El PBZ no disminuyó la altura de plantas ni la longitud de hojas de los cultivares 'Puma', '30p49' y 'DK2020', aunque la anchura de hojas ocurrió con ligera disminución sin diferencias estadísticas.

El rendimiento de grano tuvo respuesta al PBZ en el cultivar 'Puma', en el primer ciclo en que se evaluó sólo con diferencias numéricas (valores absolutos), en tanto que en el segundo ciclo se expresó con diferencias estadísticas; sin embargo, en los cultivares '30P49' y 'DK2020' las diferencias sólo fueron ligeras numéricamente, lo que quizás se deba a que el potencial genético para el rendimiento del grano no sea muy superior al obtenido.

El PBZ produjo efectos indirectos en la disminución del calentamiento global a través de los cultivares evaluados, ya que en todos se incrementó el contenido de clorofila, la cual requiere del carbono que contiene el CO₂ que se encuentra en la atmósfera; sin embargo, los efectos que ocasionó en dicho calentamiento a través de la acumulación de carbono en el grano, variaron de un cultivar a otro.

LITERATURA CITADA

- Arellano C., L., Peña L. y Flores R. J. 1992. Control químico en la altura del lisianthus (*Eustoma grandiflorum* G.) para su producción en maceta. Revista Chapingo 78: 14-18.
- 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.
- Burch, P. L., Wells R. H., 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.
- 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.
- Clouse, S. D., and Sasse J. M. 1998. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 427-451.
- 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.
- Erez, A. 1984. Dwarfing peaches by pruning and paclobutrazol. *Acta hort.* 146: 1235-1241.
- Giafagna, T. J., and Wulster G.J. 1986. Comparative effects of ancymidol and paclobutrazol on Easter lily. *HortScience* 21(6): 463-464.
- 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.
- Laboratorio Químico de Productos Naturales. 1991. Origen del maíz. *In*: La importancia biológica de los iones inorgánicos. Edit. Universidad Michoacana. <http://farma.gfb.umich.mx/origmaiz.htm>.
- LeCain, D. R., Schekel K. A., and Walple, R. L. 1986. Growth retarding effects of paclobutrazol on weeping fig. HortScience 21: 1150-1152.
- Loffler, C. M., T. L. Rauch and R. H. Busch. 1985. Grain and plant protein relationships in hard red spring wheat. Crop Sci. 25: 521-524.
- 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.
- Mansour, H. A., and Poole R. T. 1987. Trials with growth retardant on ornamental foliage plants. Proc. Fla. State Hort. Soc. 100: 375-378.
- 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). Revista Chapingo 78: 11-13.
- McDaniel, 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.
- McDaniel, G. L. 1990. Postharvest high suppression of potted tulips with paclobutrazol. *HortScience* 25(2): 212-214.
- 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.
- 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.
- Possingham, J. V. 1980. Plastid replication and development in the life cycle of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31: 113-129.
- 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. 1982. Manual Teórico-Práctico de Herbicidas y Fitorreguladores. Editorial Limusa. 116 p.
- Salisbury, F. B. y Ross C. W. 2000. Fisiología de las Plantas. Paraninfo Thomson Learning, Madrid, España, 988 p.

- Tjia, B. 1987. Growth regulator effect on growth and flowering of *Zantedeschia rehmannii* Hyb. HortScience 22:507-508.
- 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.
- 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. 1989. Control growth of *Hibiscus* by treating unrooted cuttings and potted plants with uniconazole and paclobutrazol. ASHS 1989 Annu. Mtg., Tulsa, Okla., Prog. & Abstr. P.129.
- 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.
- 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 Teubner, F. G. 1956. Cold exposure of tomato seedlings and flower formation. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 67:369-376.

- Wittwer, S. H., and Tolbert, N. E. 1960. (2-chloroethyl) trimethylammonium 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.
- Yokota, T. 1997. The structure, biosynthesis and function of brassinosteroids. *Trends Plant Sci.* 2:137-143.