

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**CRECIMIENTO, CONTENIDO DE PROTEÍNA, PANZA
BLANCA Y RENDIMIENTO DEL TRIGO EN RESPUESTA
AL PACLOBUTRAZOL APLICADO FOLIARMENTE**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**PRESENTA
AGUSTÍN ZÁRATE MÁRQUEZ**

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

**CODIRECTOR DE TESIS
DR. JUAN FRANCISCO PONCE MEDINA**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

DICIMBRE DE 2012

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **AGUSTÍN ZÁRATE MÁRQUEZ**, BAJO LA DIRECCION DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR

DR. LEOPOLDO PARTIDA RUVALCABA

CODIRECTOR

DR. JUAN FRANCISCO PONCE MEDINA

ASESOR

DR. LEONEL AVENDAÑO REYES

ASESOR

DR. ALEJANDRO MANELIK GARCÍA LÓPEZ

ASESOR

DR. EDGAR OMAR RUEDA FUENTE

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por permitirme la dicha de alcanzar una meta más, y por las bendiciones brindadas en toda mi vida.

A la Universidad Autónoma de Baja California

Por haberme brindado la oportunidad de formar parte de su equipo, por apoyarme durante el transcurso del programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, y proporcionarme toda su infraestructura y equipo de trabajo, para continuar y culminar con mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Por el financiamiento para realizar mis estudios de doctorado.

Al Instituto de Ciencias de Agrícolas

Por haberme habilitado y brindado sus instalaciones durante tres años, e impulsarme para alcanzar las metas que me propuse realizar: tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias.

A La Universidad Autónoma de Sinaloa

Por brindarme nuevamente después de 26 años la oportunidad de llevar a cabo trabajos de investigación para la conclusión de la presente.

Al Dr. Leopoldo Partida Ruvalcaba, por el empeño y dedicación con que me apoyó en todo momento, por su sincero interés y entrega en la realización de este trabajo, por sus consejos, por su actitud incondicional y siempre gentil, por su paciencia y comprensión infinita. Por ser un amigo, pero sobre todo una gran persona.

Al Dr. Juan Francisco Ponce Medina, por la amistad que me ha brindado y todas las atenciones a este proyecto, y su amable apoyo incondicional en el manejo agronómico, por su dedicación y entrega en la planeación y en el desarrollo del mismo.

Dr. Leonel Avendaño Reyes, primeramente por brindarme su amistad y sobre todo su desempeño académico en la cada una de las clases que nos impartió con mucho profesionalismo y dedicación.

Dr. Alejandro Manelik García López, por estar siempre al pendiente de las dudas y de los avances del proyecto.

Dr. Edgar Rueda Puente, por su colaboración y participación en este proyecto

Al M.C. Juan José Paz Hernández, por brindarme siempre su apoyo, por su amable y valiosa ayuda en la realización de los experimentos, por su comprensión y compromiso, por todo el tiempo y esfuerzo dedicado para lograr la culminación de este proyecto.

A C.P. Martha Luisa Vélez Salomón, todos mis respetos y agradecimientos por todo el apoyo brindado incondicionalmente para la culminación de mis estudios de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, gracias amiga.

A M.C Felipe Menchaca Ceja, por su cordial colaboración en el cuidado del cultivo, por sus aportaciones y por su apoyo brindado en todo momento.

Lic. Elsa B. Zamudio Parra por su estricta y excelente colaboración en revisión, análisis ortográficos de este trabajo.

A M.C. José Sinuhé Acosta Quintero, por su gran apoyo y colaboración en los trabajos de investigación, y la captura de la información de campo.

Al C. Alejandro López Lugo, por su ayuda, colaboración y disponibilidad del laboratorio de semillas.

Finalmente a los maestros, aquéllos que marcaron cada etapa de nuestra formación doctoral, y en lo cual contribuyeron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

DEDICATORIA

A MIS QUERIDOS Y ADORADOS PADRES

Mercedes y Agustín, con profunda admiración y respeto.

A MI ESPOSA E HIJOS

Ma. Gabriela Villegas Martínez, Crisol Azucena Zárate Villegas, Agustín Zárate Villegas, por su comprensión y paciencia.

A mi nieta Crisol Isabella Razo Zarate por traernos felicidad y unidad familiar.

A MIS HERMANOS

Que con sus consejos, con sus alegrías, paciencia, hay estamos.

A MI HERMANA ANA

Porque no me dio el tiempo de compartir este momento contigo, te lo comparto ahora, haciendo de mi tesis un pequeño homenaje a tu amor y lucha por la vida.

A MI HERMANO EDUARDO

Por su perseverancia y constancia que lo caracteriza y que me ha infundido Siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

A MIS AMIGOS

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación doctoral
Mario A. Corro, Juan Augusto Hernández, Rolando Pérez
Que con su paciencia y tenacidad contribuyeron para lograr este objetivo.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS -----	
RESUMEN GENERAL -----	
GENERAL ABSTRACT -----	
I INTRODUCCIÓN GENERAL -----	1
II EFECTO QUE INDUCE EL PACLOBUTRAZOL EN LA CLOROFILA, CRECIMIENTO Y PANZA BLANCA DEL GRANO DE TRIGO -----	3
2.1. RESUMEN -----	3
2.2. ABSTRACT -----	4
2.3. INTRODUCCIÓN -----	5
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS -----	9
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	11
2.6. CONCLUSIONES -----	16
2.7. LITERATURA CITADA -----	17
III INTENSIDAD Y PERMANENCIA DEL VERDOR, CRECIMIENTO, PANZA BLANCA Y RENDIMIENTO DE GRANO EN TRIGO CON PACLOBUTRAZOL -----	20
3.1. RESUMEN -----	20
3.2. ABSTRACT -----	21
3.3. INTRODUCCIÓN -----	22
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS -----	26
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	28

	Página
3.6. CONCLUSIONES -----	33
3.7. LITERATURA CITADA -----	34
IV CRECIMIENTO, PROTEÍNA, PANZA BLANCA Y RENDIMIENTO DE TRIGO CULTIVADO CON FERTILIZANTE NITROGENADO Y PACLOBUTRAZOL -----	37
4.1. RESUMEN -----	37
4.2. ABSTRACT -----	38
4.3. INTRODUCCIÓN -----	39
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS -----	43
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	45
4.6. CONCLUSIONES -----	50
4.7. LITERATURA CITADA -----	51
V DISCUSIÓN GENERAL -----	55
VI CONCLUSIONES GENERALES -----	56
VII LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL -----	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Clorofila en tres variedades de trigo tratadas con paclobutrazol al formar el primer nudo del tallo -----	12
Figura 2	Altura de planta de tres variedades de trigo tratadas con paclobutrazol al formar el primer nudo del tallo -----	13

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Granos con panza blanca en tres variedades de trigo tratadas con paclobutrazol al formar el primer nudo del tallo	15
Cuadro 2	Intensidad y permanencia del verdor del follaje en tres etapas fenológicas de dos cultivares de trigo tratados con paclobutrazol -----	29
Cuadro 3	Respuesta en altura de plantas, espigas por metro cuadrado e índice de cosecha de dos variedades de trigo -----	30
Cuadro 4	Proteína, panza blanca y rendimiento de grano en dos cultivares de trigo tratados con paclobutrazol -----	31
Cuadro 5	Respuesta de la clorofila, altura de plantas, materia seca, peso de granos e índice de cosecha de la variedad 'Romoga F-96' -----	45
Cuadro 6	Caracteres componentes del rendimiento y panza blanca del grano de trigo en la variedad 'Romoga F-96' -----	47

RESUMEN GENERAL

Se hicieron tres experimentos para conocer el efecto que ocasiona el paclobutrazol (PBZ) en el contenido de clorofila (unidades spad), altura de plantas, peso seco de raíces, peso seco de 25 tallos con hojas y espiga, peso de granos de 25 espigas, número de espigas m^{-1} lineal, granos por espiga, contenido de proteína, gramos de granos con y sin panza blanca, índice de cosecha y rendimiento del trigo. En sólo una ocasión, con bomba manual, se aplicaron dosis de 0 (testigo), 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg de PBZ L^{-1} de agua sobre el follaje de los cultivares 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70', 'Yécora Rojo', Río Colorado, Baviácora y 'Romoga F-96'. En un experimento, los primeros tres cultivares se sembraron en diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, durante el ciclo agrícola 2008-2009 en el Valle de Mexicali, Baja California, con unidades experimentales de constaron de 20 m^2 , las cuales fueron fertilizadas con $185 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (35% en presiembra, 32.5% en el segundo riego de auxilio y 32.5% en el tercero); mientras que en un segundo experimento, el cuarto y quinto cultivar fueron fertilizados con $250 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (50% en el primer riego de auxilio y el resto con el cuarto riego; la variedad 'Romoga F-96' se sembró en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones, con parcelas útiles de surcos de 8 m de largo, y se fertilizó con $250 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en el primer riego de auxilio. Con 100 mg la altura de 'Cachanilla' se incrementó ($p \leq 0.05$) 1.7% en relación con la del testigo; y con 150 mg, en las variedades 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo' llegó a disminuir en los respectivos ($p \leq 0.05$) 18.2% y 14.8%. La clorofila se incrementó ($p \leq 0.05$) hasta 7.2, 12.1 y 19.1% con 100, 300 ó 50 mg de PBZ en 'Cachanilla', 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo', respectivamente. La panza blanca disminuyó de 48.5-74.4% en 'Cachanilla F-2000', y hasta cero en 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo'. El verdor tuvo su mayor expresión ($p \leq 0.05$) con 25.8% en Río Colorado en amacollamiento, 10.7% en encañe y 7.9% en embuche, comparados con el del testigo; en Baviácora los incrementos fueron hasta 12.6, 18.4 y 7.3% en dichas etapas; la altura disminuyó

($p \leq 0.05$) hasta 8.9% en Río Colorado y 9.7% en Baviácora; el máximo incremento de espigas m^{-2} ($p \leq 0.05$) fue 66.9% en Río Colorado y 18.0% en Baviácora; el índice de cosecha se incrementó ($p \geq 0.05$) 2.2% más en Río Colorado y 16.2% en Baviácora; el contenido de proteína fue 52.9% más en Río Colorado y 7.5% en Baviácora; la panza blanca disminuyó ($p \leq 0.05$) hasta 100% en Río Colorado y 65% en Baviácora; y el rendimiento de grano se incrementó ($p \geq 0.05$) hasta 18.3% en Río Colorado y 25% en Baviácora ($p \leq 0.05$). En la variedad 'Romoga F-96', la clorofila se incrementó ($p \leq 0.05$) de 6.8-13.6% en relación con la del testigo; la altura disminuyó ($p \leq 0.05$) de 5.2-10.1%; la materia seca se incrementó ($p \geq 0.05$) de 2.1-6.6%, el peso de granos de 4.4-9.4% ($p \geq 0.05$), el índice de cosecha se incrementó ($p \geq 0.05$) hasta 3.2%, las espigas m^{-1} lineal de 15.5-26.9% ($p \leq 0.05$), granos por espiga de 0.9-10.5% ($p \geq 0.05$); sin embargo, el contenido de proteína del grano se incrementó de 8.0-15.3%, la panza blanca disminuyó ($p \leq 0.05$) de 42.9-63.1%, y el rendimiento de grano se incrementó ($p \leq 0.05$) de 24.8-30.1% con respecto al testigo. Lo anterior indica que el PBZ se puede usar en dosis de 150 a 200 $mg\ L^{-1}$ de agua, para incrementar clorofila, número de granos por espiga, proteína del grano, disminuir panza blanca e incrementar rendimiento de grano.

Palabras Clave: retardante de crecimiento, altura, 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70', 'Yécora Rojo', Río Colorado, Baviácora, 'Romoga F-96'

GENERAL ABSTRACT

Three experiments were made to determine the effect that causes paclobutrazol (PBZ) in chlorophyll content (SPAD units), plant height, root dry weight, dry weight of 25 stems with leaves and spike, grain weight 25 pin, number of spikes m^{-1} linear, grains per spike, protein content, grams of grains with and without white belly, harvest index and yield of wheat were applied doses of 0 (control), 50, 100, 150, 200, 250, 300 and 350 mg L^{-1} PBZ water on the foliage of the cultivar 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70', 'Yécora Rojo', Río Colorado, Baviácora and 'Romoga F-96'. In one experiment the first three cultivars were planted in experimental design of randomized complete block with four replications, during 2008-2009 growing season in the Valley of Mexicali, Baja California, with experimental units of 20 m^2 , which were fertilized with 185 kg N ha^{-1} (35% preplant, 32.5% in the second supplemental irrigation and 32.5% in the third); while in a second experiment the fourth and fifth cultivar were fertilized with 250 kg N ha^{-1} (50% in the first supplemental irrigation and the rest with the fourth irrigation; the variety 'Romoga F-96' was planted in the experimental field of the Faculty of Agronomy Autonomous University of Sinaloa, in designing a randomized complete block with five replicates with plots useful grooves 8 m long, and was fertilized with 250 kg N ha^{-1} in the first watering. In all experiments the PBZ was applied once with hand pump, at doses of 0 (control), 50, 100, 150, 200, 250, 300 and 350 mg L^{-1} of water on the foliage of each cultivar. With 100 mg height 'Cachanilla' increased ($p \leq 0.05$) 1.7% over that of the control, and with 150 mg , in varieties 'Yécora F-70' and 'Yecora Rojo' reached respective decrease in 14.8% and 18.2%. Chlorophyll increased ($p \leq 0.05$) to 7.2, 12.1 and 19.1% with 100, 300 or 50 mg of PBZ in 'Cachanilla', 'Yécora F-70' and 'Yécora Rojo', respectively. The white belly decreased ($p \leq 0.05$) from 48.5-74.4% in 'Cachanilla F-2000', and to zero in 'Yécora F-70' and 'Yécora Rojo'. The greenness had its highest expression ($p \leq 0.05$) with 25.8% in Río Colorado in tillering, 10.7% in jointing and 7.9% at boot stage, compared to the control; Baviácora increases were up to 12.6, 18.4 and 7.3% in these stages; height decreased ($p \leq 0.05$) to 8.9% in Río Colorado and 9.7% in Baviácora; the maximum increase of spikes m^{-2}

($p \leq 0.05$) was 66.9% in Río Colorado and 18.0% in Baviácora; harvest index increased ($p \geq 0.05$) 2.2% in Río Colorado and 16.2% in Baviácora; the protein content was 52.9% in Río Colorado and 7.5% in Baviácora; the yellow berry decreased ($p \leq 0.05$) to 100% in Río Colorado and 65% in Baviácora; and the yield of grain increased ($p \geq 0.05$) to 18.3% in Río Colorado and 25% in Baviácora ($p \leq 0.05$). In the variety 'Romoga F-96', the chlorophyll was increased ($p \leq 0.05$) from 6.8-13.6% relative to that of the control, the decreased height ($p \leq 0.05$) of 5.2-10.1%, dry matter increased ($p \geq 0.05$) from 2.1-6.6%, the grain weight ($p \geq 0.05$) of 4.4-9.4%, the harvest index increased ($p \geq 0.05$) to 3.2%, the pins linear m^{-1} 15.5-26.9% ($p \leq 0.05$), grains by pin 0.9-10.5% ($p \geq 0.05$), however, the grain protein content was increased from 8.0 -15.3%, yellow berry decreased ($p \leq 0.05$) from 42.9-63.1%, and grain yield increased ($p \leq 0.05$) from 24.8-30.1% compared with the control. This indicates that the PBZ be used in doses of 150 to 200 $mg L^{-1}$ of water, to increase chlorophyll, number of kernels per ear, grain protein, white belly decrease and increase of grain yield.

Key words: Growth retardant, height, 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70', 'Yécora Rojo', Río Colorado, Baviácora, 'Romoga F-96'.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

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

En el ciclo de vida del trigo influyen sustancias propias de la planta que inducen la división y elongación celular, como las giberelinas, citocininas, auxinas, etileno, ácido abscísico, entre otras, que se denominan hormonas, las cuales inducen 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 ocasiona efecto en el crecimiento y desarrollo de varias especies vegetales, haciendo que algunas disminuyan o incrementen su crecimiento en las respectivas partes vegetativas y radicular, lo cual depende de las dosis y etapas fenológicas en que se aplique Partida *et al.*, 2007; Velázquez *et al.*, 2008).

Sin embargo, dichos efectos inducidos por el PBZ no eran del todo conocidos en la planta de trigo, 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, contenido de proteína, disminución de panza blanca y rendimiento del trigo, 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 ocasionen 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 (Jiménez y Lamo, 1998).

Investigar los efectos que induce el PBZ en el trigo, 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 retarda el crecimiento de las plantas de trigo, cuando se aplica en dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 ó 350 mg L⁻¹ de agua, sobre el follaje de plantas en amacollamiento; en cambio, ocasiona que el contenido de clorofila se incremente, al igual que otros caracteres, como el contenido de proteína, rendimiento de grano o producción de alimento y que disminuya la panza blanca del grano. De tal manera que cuando el trigo es cultivado en suelo arcilloso, 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 trigo estén en la etapa de amacollamiento.

II. EFECTO QUE INDUCE EL PACLOBUTRAZOL EN LA CLOROFILA, CRECIMIENTO Y PANZA BLANCA DEL GRANO DE TRIGO

EFFECT THAT INDUCES PACLOBUTRAZOL IN CHLOROPHYLL, GROWTH AND WHEAT GRAIN YELLOW BERRY

2.1. RESUMEN

Para conocer el efecto que ocasiona el paclobutrazol (PBZ) en contenido de clorofila, altura y granos con panza blanca del trigo, se aplicaron dosis de 0 (testigo), 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg L⁻¹ de agua sobre el follaje de los cultivares 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo'. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones; unidades experimentales de cuatro surcos de 20 m de largo, las cuales fueron fertilizadas con 260 kg de N ha⁻¹ (35% en presiembra, 32.5% en el segundo riego de auxilio y 32.5% en el tercero). Las dosis se aplicaron sólo una vez con una bomba manual. Con 100 mg de PBZ la altura de 'Cachanilla' se incrementó 1.7% en relación con la del testigo; y en las variedades 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo' llegó a disminuir en los respectivos 18.2% y 14.8% con 150 mg. La clorofila se incrementó hasta 7.2, 12.1 y 19.1% con 100, 300 ó 50 mg de PBZ en 'Cachanilla', 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo', respectivamente. La panza blanca disminuyó de 48.5-74.4% en 'Cachanilla F-2000', y hasta cero en 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo'. Lo anterior indica que PBZ se puede usar para incrementar clorofila y mejorar la calidad del grano en trigo harinero o duro.

Palabras clave: Retardante de crecimiento, altura, 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70', 'Yécora Rojo'

2.2. ABSTRACT

To determine the effect that causes paclobutrazol (PBZ) on the chlorophyll content, height and percent of yellow berry in grains of wheat, PBZ was applied in doses of 0 (control), 50, 100, 150, 200, 250, 300 and 350 mg L⁻¹ water on the foliage of the varieties of wheat 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70' and 'Yécora Red'. The data was analyzed with a completely randomized blocks design with four replications; experimental units were rows of 20² m long each, which were fertilized with 260 kg of N ha⁻¹ (35% in pre-seeding, 32.5% in the second irrigation relieve, and 32.5% in third one). The PBZ doses were applied only once using a hand pump. At dosage of 100 mg of PBZ L⁻¹ of water, the height plants of the variety 'Cachanilla F-2000' increased 1.7% compared to control plants, meanwhile the variety 'Yécora F-70' diminished to 18.2% with 150 mg of PBZ L⁻¹ water and the 'Yécora Red' to 14.8% with 150 mg of PBZ L⁻¹. Chlorophyll content increased up to 7.2, 12.1 and 19.1% with 100, 300 or 50 mg in 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70' and 'Yécora Red', respectively. Yellow berry decreased from 48.5 to 74.4% in the variety 'Cachanilla F-2000', but in 'Yécora F-70' and 'Yécora Red' it decreased to zero. These results indicate that PBZ can be used to increase chlorophyll and photosynthesis to improve the quality of the grain of bread wheat or hard.

Key words: Growth retardant, high, 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70', 'Yécora Rojo'.

2.3. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal que actualmente ocupa el segundo lugar en importancia, desde el punto de vista de la producción mundial, ya que a partir del ciclo 1998-1999 ha sido superado por el maíz; sin embargo, su producción ha ocurrido con altibajos desde el ciclo 1990-1991 hasta el 2008-2009, aunque la tendencia ha sido a incrementarse desde 2004-2005 hasta 2008-2009, de tal manera que mientras que en el ciclo 1990-1991 la producción fue de 588.6 millones de toneladas, en el ciclo 2008-2009 llegó a ser de 676.3 millones (Ochoa y Ortega, 2008).

Según Ochoa y Ortega (2009), en el 63.6% de los ciclos del período 1998-2009, la producción de trigo fue superior al consumo mundial; es decir, se logró satisfacer el consumo mundial y hubo excedentes; no obstante, en el 36.4% de los ciclos del mismo período, la producción de trigo fue menor a lo que la población mundial necesitó para su consumo, lo que a su vez indica que el inventario de trigo también ha tenido altibajos, pero a partir del ciclo 2008-2009 se ha observado un incremento del inventario.

Por eso, en lo que va de la presente década, y más concretamente en la mitad de ésta, la demanda mundial de trigo se incrementó de manera considerable, en tanto que la producción no aumentó en la misma proporción, ya sea por los bajos niveles de productividad en algunas regiones o bien por problemas climáticos, lo que dio como resultado que las reservas mundiales del grano se vieran mermadas de manera importante (Ochoa y Ortega, 2009).

Buscando alternativas para mejorar calidad, crecimiento y desarrollo de plantas, en las dos décadas pasadas se descubrió que el PBZ incrementa el crecimiento de raíces (Watson, 1996) o aumenta la relación de raíces por brotes en plantas de *Prunus persica* L. o durazno (Litembani y Taylor, 1989), así como en *Pyracantha* y *Juniperus* (Ruter, 1994). Además, el PBZ ha ocasionado reducción en la expansión de hojas en muchas especies de árboles (Burch *et al.*, 1996). Sin embargo, esta sustancia tiene alta residualidad en el suelo, por lo que puede provocar contaminación de mantos freáticos y riesgo potencial de translocación en

los frutos; no obstante, dicha residualidad depende de que se hagan aplicaciones consecutivas a través del tiempo (Osuna *et al.*, 2001).

El PBZ es una sustancia que ocasiona efectos en el crecimiento de raíces y parte aérea de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) variedad 'California Wonder' y de una población segregante de berenjena (*Solanum melongena*) variedad 'Dalia'. El PBZ incrementa la biomasa de raíz y de la parte aérea de ambas especies; en la primera, la dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua puede incrementar hasta 1.1 veces la longitud de la raíces, 3.7 veces la materia fresca y 13 veces la materia seca de las mismas; pero también puede incrementar en 1.5 y 6.7 veces la materia fresca y seca de la parte aérea de la misma especie. No obstante, en berenjena puede incrementar en 1.3 veces la materia fresca y en 71% la materia seca de la raíz; asimismo, 81% la materia fresca y 89% la materia seca de la parte aérea (Partida *et al.*, 2007).

También ocasiona efectos en la parte aérea de plántulas de tomate y chile, de tal forma que cuando se aplica sobre plántulas de tomate con dos o cuatro hojas verdaderas en dosis de 100, 150 ó 200 mg de PBZ L⁻¹ de agua, la altura de plantas se retarda; mientras que cuando se aplica en dosis de 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua, la altura se incrementa. Asimismo, en chile el PBZ retarda el crecimiento de los tipos chile bell y anaheim con 200 mg L⁻¹, en jalapeño con 100, en serrano con 100 ó 200, y en caribe con 200 ó 250 (Velázquez *et al.*, 2008).

En pepino, el paclobutrazol ocasiona aumento en el número de raíces, longitud y diámetro de las mismas, cuando las semillas son remojadas en solución con 40 mg de PBZ L⁻¹ de agua, pero la longitud del hipocótilo se reduce. Además, las plantas que resultan de semillas tratadas con paclobutrazol y refrigeración durante 4 días a 5 °C tienen mayor concentración y fluorescencia de clorofila, por lo que son más eficientes fotosintéticamente en relación con las plantas testigo (Ali, 2009).

En trigo, el paclobutrazol (PBZ) disminuye ligeramente la altura de las plantas al ser aplicado en dosis de 40, 80 ó 120 g ha⁻¹; en tanto que la producción de materia seca de la parte aérea no varía, y el rendimiento se incrementa en relación al testigo (Espindula *et al.*, 2009).

Algunas veces el grano de trigo no tiene la calidad requerida por la industria, debido a la presencia de alto porcentaje de granos con panza blanca, lo cual no afecta el rendimiento (Solis y Díaz de León, 2001). El primero en utilizar el término panza blanca fue Headden (1915), para referirse a los granos que presentan un aspecto moteado a causa de manchas que varían de blanco a blanco amarillento con respecto a las capas externas de la semilla. Manchas de aspecto almidonoso que en algunas ocasiones se presentan en pequeñas áreas, pero pueden llegar a cubrir la mitad o toda la semilla (Sharma *et al.*, 1983).

La panza blanca es una enfermedad fisiológica que disminuye el contenido de proteínas en los granos de trigo (Aadmodt y Torrie, 1935a; 1935b), enfermedad que se manifiesta por una condición almidonosa que presentan algunos granos, parcial o totalmente en su endosperma; y se identifica fácilmente en el grano de *Triticum durum* Desf. y *Triticum aestivum* (Castro, 1970).

Algunos científicos definen a la panza blanca como una alteración de granos, en trigo duro, que afecta la calidad de la harina y, consecuentemente, la calidad de productos como la pasta (Bacci *et al.*, 2002); mientras que otros la consideran como un serio desorden en semillas del trigo panadero, trigo duro y triticale, que surge por deficiencia de nitrógeno en el suelo, afectando seriamente el contenido de proteínas del grano y, por tanto, la calidad de la harina en trigo panadero y de la pasta en trigo duro (Ammiraju *et al.*, 2002).

En trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*), la expresión de la panza blanca se ve favorecida por baja fertilización nitrogenada, uso de variedades sensibles, siembra en la primera quincena de diciembre y por el número de riegos aplicados; no obstante, la panza blanca tiene mayor asociación con la dosis de nitrógeno que con cualquiera de los otros factores mencionados, sin que su incidencia esté correlacionada con el rendimiento (Solis y Díaz de León, 2001).

Partida *et al.* (2007) refieren que las mejores dosis de nitrógeno para disminuir panza blanca del grano de trigo harinero son 110, 140 y 150 kg de N ha⁻¹, ya que ellos descubrieron que la enfermedad disminuyó 41.7, 47.9 y 39.6%, respectivamente, y el rendimiento se incrementó en los respectivos 94.1, 123.4 y 99.8%, con relación al testigo. Aunque otras dosis de nitrógeno también disminuyen significativamente la panza blanca, pero no son de las mejores para inducir un incremento del rendimiento de grano.

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto que induce el paclobutrazol en el contenido de clorofila, altura de plantas y porcentaje de granos con panza blanca.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el ejido Nuevo León, del Valle de Mexicali, B. C., en terrenos arrendados por Molinera del Valle y Tridegen, S. A. de C. V., y se utilizaron las variedades de trigo del grupo 1: 'Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo'.

La siembra se llevó a cabo el 17 de diciembre de 2008 en condiciones de campo abierto, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde las parcelas experimentales constaron de 20 m², con separación de 1.0 m entre camas, donde se hizo la siembra a tierra venida, ya que el suelo es de textura media con pH=7.2, CE=7.6 dS m⁻¹, N residual=147 kg ha⁻¹ y P=28.7 kg ha⁻¹; se dio un riego por gravedad en presiembra, así como los riegos de auxilio por gravedad necesarios para inducir el mejor crecimiento y desarrollo de las plantas.

Todas las parcelas experimentales fueron manejadas con la fórmula 332-56-00 (147 kg de N residual+185 a partir de urea y UAN-32; de P fueron 28.7 kg residuales+27.3 obtenidos de ácido fosfórico). Del total de N aplicado, 35% se adicionó en el riego de aniego, y el resto distribuidos entre el segundo y el quinto riego de auxilio, o fases Z 3 y Z 7 según la escala de Zadoks *et al.* (1974); en tanto que el total de P se aplicó en el primer riego de auxilio, o fase Z 2 de acuerdo con los mismos autores. Las plantas fueron protegidas con herbicidas, por lo que el 20 de Febrero se aplicó la mezcla pinoxaden 0.6 L + triasulfurón 10 g + 2-4-D 0.75 L ha⁻¹.

Las variables de estudio fueron: contenido de clorofila, altura de plantas y panza blanca del grano. En tanto que los tratamientos aplicados fueron 0 (testigo), 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg de paclobutrazol (PBZ) L⁻¹ de agua. Las dosis se aplicaron con una bomba manual, en una sola ocasión, al inicio de la etapa de encañe, específicamente cuando las plantas formaron el primer nudo perceptible del tallo principal.

La densidad de población fue de aproximadamente 100 plantas por m², ya que se utilizaron 46 kg de semilla por ha, y la siembra se hizo en surcos a doble hilera. El manejo de las plantas se realizó en forma comercial, incluida la fertilización;

asimismo, los riegos para incorporar el fertilizante y facilitar la absorción del mismo por parte de las plantas.

Todas las variables se evaluaron en una muestra de 10 plantas seleccionadas al azar. El contenido de clorofila se midió con un 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 la aplicación del PBZ; la altura se midió a partir de la superficie del suelo hasta la base del raquis de la espiga, y la determinación de panza blanca se hizo con base al peso de 100 g de grano, de donde se identificaron y pesaron todos aquellos granos con la enfermedad para determinar el respectivo porcentaje.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos de clorofila en la variedad 'Cachanilla F-2000', se observó que la concentración de ésta fue con una media general de 51.4 Unidades Spad, con respecto a la cual los datos se desviaron 4.5 unidades, lo que a su vez representó el 8.7% de desviación en relación a la media general. En la Figura 1 se indican los promedios de clorofila, de tal manera que al analizar los valores se detectó que con 100 mg de PBZ L⁻¹ de agua la concentración de dicha sustancia se incrementó 7.2% ($p \leq 0.05$) con respecto a la concentración observada en el testigo; mientras que con 200, 300, 150 ó 350 mg los incrementos fueron de 3.8, 0.9, 0.8 y 0.7%, en el mismo orden. En la variedad 'Yécora F-70', el promedio general y la desviación estándar fueron de 46.3 y 3.9 Unidades Spad, respectivamente, por lo que el coeficiente de variación fue de 8.4%; sin embargo, la clorofila se incrementó en los respectivos 12.1, 10.6, 10.0, 8.6, 7.3, 5.5 y 4.5% con las dosis de 300, 100, 350, 200, 250, 50 ó 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua (Figura 1).

En la variedad 'Yécora Rojo', el promedio general de clorofila fue de 45.9 Unidades Spad, con una desviación estándar de 4.3 unidades y un coeficiente de variación de 9.4%; no obstante, la concentración de la sustancia también se incrementó en 19.1, 8.0, 5.3, 4.9, 4.6, 3.4 y 2.0% (Figura 1) con las dosis de 50, 250, 150, 200, 350, 300, ó 100 mg de PBZ, en el mismo orden. La respuesta en el contenido de clorofila indica que el PBZ ocasionó mayor eficiencia fotosintética en las plantas de las tres variedades.

De manera general, la variedad 'Cachanilla F-2000' fue ($p \leq 0.05$) 31.4 y 25.3% (Figura 2) más alta que las variedades 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo'; sin embargo, al observar por separado el promedio de cada cultivar se notaron diferencias en 15.0% ($p \leq 0.05$) entre la altura del testigo de la variedad 'Cachanilla F-2000' y la de las plantas tratadas con 50 mg de PBZ L⁻¹ de agua, pero las diferencias fueron de mayor magnitud (18.2 y 17.0%) entre las que recibieron 150 ó 250 mg de PBZ y las plantas testigos en las respectivas variedades 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo'. No obstante, con la dosis de 100 mg de PBZ se indujo 1.7% más de crecimiento en la variedad 'Cachanilla F-2000' con respecto al testigo, pero con el resto de las

dosis se indujeron disminuciones que oscilaron de 4-15%. En el cultivar ‘Yécora F-70’ la mayor disminución ocurrió con la dosis de 150 mg de PBZ, en tanto que con el resto las disminuciones en variaron de 8.7-18.2%. Sin embargo, en la variedad ‘Yécora Rojo’ las disminuciones de altura oscilaron de 7.9-17.0% con las dosis de 100 a 350 mg.

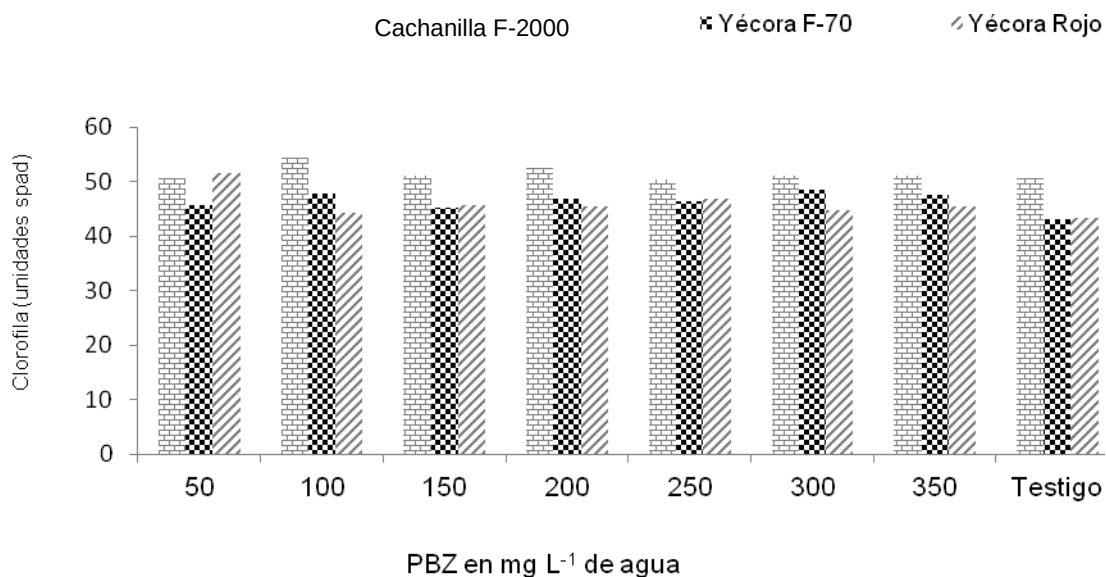


Figura 1. Clorofila en tres variedades de trigo tratadas con paclobutrazol al formar el primer nudo del tallo.

La panza blanca disminuyó hasta cero en las variedades ‘Yécora F-70’ y ‘Yécora Rojo’ con todas las dosis de PBZ (Cuadro 1); sin embargo, en el cultivar ‘Cachanilla F-2000’ las disminuciones oscilaron de 48.5-73.4% con todas las dosis utilizadas en relación a los porcentajes observados en los granos cosechados de las plantas testigo.

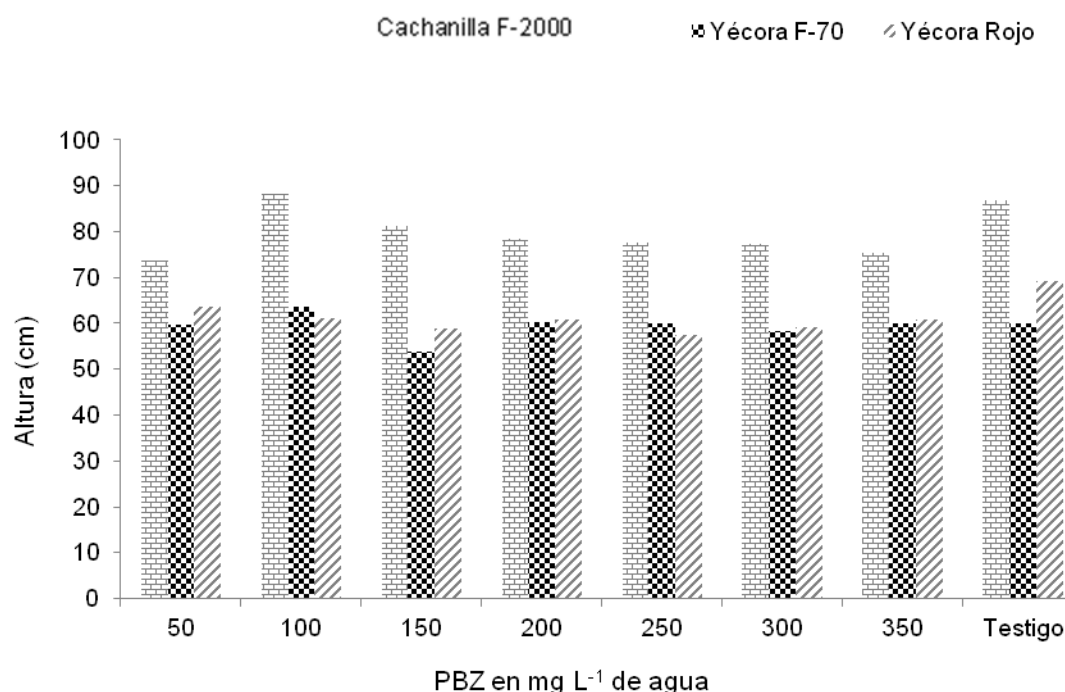


Figura 2. Altura de planta de tres variedades de trigo tratadas con paclobutrazol al formar el primer nudo del tallo.

Los resultados en clorofila de las tres variedades tienen relación con lo descubierto por Ali (2009) en plantas de pepino, ya que también observó incremento de la concentración de clorofila y mayor eficiencia fotosintética en plantas obtenidas a partir de semillas remojadas en solución con paclobutrazol.

Lo obtenido en altura de los tres cultivares ('Cachanilla F-2000', 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo') también tiene relación con los resultados de Espindula *et al.* (2009), puesto que ellos observaron que la altura del trigo disminuye ligeramente al aplicar PBZ en dosis de 40, 80 ó 120 g ha⁻¹. El incremento en 1.7% de altura de las plantas tratadas con 100 mg de PBZ L⁻¹ de agua con respecto a las plantas testigo del cultivar 'Cachanilla F-2000', se relaciona 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. Asimismo, los resultados en las variedades 'Yécora F-70' y 'Yécora Rojo' se relacionan con los de los mismos autores, ya que éstos también encontraron las respectivas disminuciones de altura en tomate y diferentes tipos de chiles, cuando aplicaron dosis de 100, 150 ó 200 mg de PBZ.

Las disminuciones de panza blanca quizá se debieron a que las plantas tratadas con PBZ produjeron mayor número de raíces y más largas que las testigo, como lo descubrieron Watson (1996) y Litembani y Taylor (1989) al observar que el PBZ incrementa el crecimiento de raíces o aumenta la relación de raíces por brotes en plantas de *Prunus persica* L. y durazno, o como lo descubrió Ruter (1994) en *Pyracantha* y *Juniperus* que produjeron más raíces al ser tratadas con PBZ.

Dicho incremento de raíces también lo descubrieron Partida *et al.* (2007) en plantas de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) variedad 'California Wonder' y en berenjena (*Solanum melongena*) variedad 'Dalia', ya que en la primera especie, la dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua ocasionó incremento de raíces hasta 1.1 veces más en longitud, 3.7 veces en materia fresca y 13 veces en materia seca; mientras que en berenjena produjo incremento en 1.3 veces la materia fresca y en 71% la materia seca de raíces.

De tal manera que al incrementar el número y longitud de raíces, las plantas exploraron más suelo y tuvieron mayor capacidad para absorber más nitrógeno y magnesio, entre otros nutrientes, que luego metabolizaron en más clorofila, como lo notó Ali (2009) en plantas de pepino tratadas con PBZ, así como en proteínas, por lo que esto último ocasionó la disminución de la panza blanca en el grano, ya que según Aadmodt y Torrie (1935a, 1935b), la panza blanca es una enfermedad fisiológica que disminuye el contenido de proteínas en los granos de trigo, y que de acuerdo con Castro (1970) se manifiesta por una condición almidonosa de los granos, parcial o totalmente en su endosperma, lo que a su vez se identifica fácilmente en el grano de *Triticum durum* Desf. y *Triticum aestivum*.

Además, los resultados de Solis y Díaz de León (2001), indican que en trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*) la panza blanca se favorece por baja fertilización nitrogenada en el suelo; lo que se corroboró por Ammiraju *et al.* (2002), al

descubrir que la panza blanca surge por deficiencia de nitrógeno en el suelo, afectando seriamente el contenido de proteínas del grano y, por tanto, la calidad de la harina en trigo panadero y de la pasta en trigo duro.

Estos resultados indican que el PBZ puede ser utilizado para incrementar clorofila y, en consecuencia, el proceso fotosintético para mejorar la calidad del grano en trigo harinero y duro.

Cuadro 1. Granos con panza blanca en tres variedades de trigo tratadas con paclobutrazol al formar el primer nudo del tallo.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Gramos de granos con panza blanca por variedad		
	Cachanilla F-2000	Yécora F-70	Yécora Rojo
Testigo (0)	8.45 a	0.77 a	0.80 a
50	4.35 b	0.0 b	0.12 b
100	3.22 b	0.17 b	0.0 b
150	2.32 b	0.0 b	0.0 b
200	2.25 b	0.0 b	0.0 b
250	2.80 b	0.0 b	0.0 b
300	2.52 b	0.0 b	0.0 b
350	3.42 b	0.0 b	0.0 b

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

2.6. CONCLUSIONES

El paclobutrazol ocasionó efectos tendientes a incrementar el contenido de clorofila de las hojas en los tres cultivares; mientras que la altura tendió a disminuir ligeramente en las variedades 'Cachanilla F-2000' y 'Yécora F-70', en 'Yécora Rojo' ocasionó disminuciones que fueron estadísticamente significativas con la mayoría de las dosis que se aplicaron. Dichos efectos también se manifestaron en la disminución de la panza blanca del grano, lo que permite sugerir que el PBZ y su aplicación al inicio del encañe son dos tecnologías que se pueden utilizar para incrementar la calidad del grano de trigo.

2.7. LITERATURA CITADA

- Ali AR (2009) Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with paclobutrazol. *Internacional Journal of Vegetable Science*, 15(2): 173–184.
- Aamodt OS, Torrie JH (1935a) Studies on the inheritance of the relation between kernel texture and protein content in several spring wheat crosses. *Canadian. Journal of Research Section C Botanical Sciences*, 13: 202-219.
- Aamodt OS, and Torrie JH (1935b) Kernel texture as an indicator of quality in hard red spring wheats. *Canadian. Journal of Research Section C Botanical Sciences*, 13: 79-88.
- Ammiraju JSS, Dholakia BB, Jawdekar G, Santra DK, Gupta VS, Roder MS, Singh H, Lagu MD, Dhaliwal HS, Rao VS, Ranjekar PK (2002) Inheritance and identification of DNA markers associated with yellow berry tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 123(2): 229-233.
- Bacci L, Rapi B, Colucci F (2002) An Evaluation Technique of Yellow-Berry in Durum Wheat Seeds. *In: Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources. American Society Agricultural and Biological Engineers*, pp. 62-69.
- Burch PL, Wells RH, Kline WN (1996) Red maple and silver maple growth evaluated 10 years after application of paclobutrazol tree growth regulator. *Journal Arboriculture* 22(2): 61-66.
- Castro SA (1970) Efectos de la fertilización nitrogenada en la panza blanca en trigo. Tesis Profesional, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Estado de México, 75 p.
- Clouse SD, Sasse JM (1998) Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49(Jun): 427-451.
- Espindula MC, Rocha VS, Grossi JAS, Souza MA, Souza LT, Favarato LF (2009) Use of growth retardants in wheat. *Planta Daninha Vicosa*, 27(2): 379-387.

- Headden WP (1915) Yellow berry in wheat. Its cause and prevention. Colo. Agr. Exp. Sta. Bull 205-38.
- Litembani S, Taylor BH (1989) Growth and development of young peach trees as influenced by foliar sprays of paclobutrazol or XE-1019. HortScience, 24: 65-68.
- Ochoa BR, Ortega RC (2008) Reservas y seguridad alimentaria. Claridades Agropecuarias. 183: 13-46.
- Ochoa BR, Ortega RC (2009) Reservas alimentarias físicas y virtuales. Claridades Agropecuarias. 189: 3-14.
- Osuna GJA, Baez SR, Medina UVM, Chávez CX (2001) Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivar Tommy Taquín. Revista Chapingo Serie Horticultura 7(2): 275-282.
- Partida RL, Velázquez ATJ, Acosta VB, Ayala TF, Díaz VT, Inzunza CJF, Cruz OJE (2007) Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. Revista Fitotecnia Mexicana, 30(2): 145-149.
- Partida RL, Velázquez ATJ, Díaz VT, Acosta VB, Inzunza CJF (2007) Nitrógeno, disminución de panza blanca del grano y aumento del rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.). Revista Electrónica Granma Ciencia, 11(2): 1-9.
- Ruter JM (1994) Growth and landscape establishment of *Pyracantha* and *Juniperus* after application of paclobutrazol. HortScience 29(11): 1318-1320.
- Sharma GC, Paul AD, Bietz JA (1983) Nitrogen fertilization effects and anatomical, protein and amino acid characteristics of yellow berry in triticale. Crop Sci. 23(Jul-Ago): 699-703.
- Solis ME, Díaz de León TJG (2001) Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. TerraLatinoamericana, 19(4): 375-383.
- Velázquez ATJ, Partida RL, Acosta VB, Ayala TF (2008) Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. Universidad y Ciencia, 24(1): 21-28.

Watson GW (1996) Tree root system enhancement with paclobutrazol. *Journal Arboriculture* 22(5): 211-217.

Zadock JC, Chang TT, Konzak CF (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weeds Res.* 14: 415-421.

III. INTENSIDAD Y PERMANENCIA DEL VERDOR, CRECIMIENTO, PANZA BLANCA Y RENDIMIENTO DE GRANO EN TRIGO CON PACLOBUTRAZOL

INTENSITY AND PERSISTENCE OF THE GREENNESS, GROWTH, YELLOW BERRY AND GRAIN YIELD IN WHEAT WITH PACLOBUTRAZOL

3.1. RESUMEN

Este trabajo se realizó para conocer los efectos que ocasiona el paclobutrazol (PBZ) en la intensidad y permanencia del verdor del follaje en tres etapas fenológicas, altura de plantas, número de espigas m^{-2} , contenido de proteína, panza blanca y rendimiento de grano ha^{-1} de los cultivares de trigo Río Colorado y Baviácora. Se sembró el 17 de Diciembre de 2009, a doble hilera sobre camas separadas a 1.0 m, en hileras separadas a 0.30 m. Se fertilizó con 250 kg de nitrógeno, el 50% se aplicó con el primer riego y el resto con el cuarto riego. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco repeticiones; parcelas experimentales con seis surcos de 10 m de largo y parcelas útiles con los cuatro surcos centrales. El verdor tuvo su mayor expresión con 25.8% en Río Colorado en amacollamiento, 10.7% en encañe y 7.9% en embuche, comparados con el del testigo; en Baviácora los incrementos fueron hasta 12.6, 18.4 y 7.3% en dichas etapas; la altura disminuyó hasta 8.9% en Río Colorado y 9.7% en Baviácora; el máximo incremento de espigas m^{-2} fue 66.9% en Río Colorado y 18.0% en Baviácora; el índice de cosecha se incrementó 2.2% más en Río Colorado y 16.2% en Baviácora; el contenido de proteína fue 52.9% más en Río Colorado y 7.5% en Baviácora; la panza blanca disminuyó hasta 100% en Río Colorado y 65% en Baviácora; y el rendimiento de grano se incrementó hasta 18.3% en Río Colorado y 25% en Baviácora.

Palabras clave: Retardante de crecimiento, altura, 'Río Colorado', 'Baviácora'.

3.2. ABSTRACT

This work was conducted to know the effects that causes paclobutrazol (PBZ) in the intensity and persistence of the greenness of the foliage in three stages phenological, plant height, number of spikes m^{-2} , content of protein, yellow berry and grain has^{-1} performance of Colorado River and Baviácora wheat cultivars. Was sown on December 17, 2009, to double row on beds separate to 1.0 m, in rows separated to 0.30 m. It is fertilized with 250 kg of nitrogen, 50% was applied with the first irrigation and the rest with the fourth irrigation. The experimental design was full blocks random with five repetitions; experimental plots with six furrows of 10 m long and useful plots with the four Central ridges. The greenness had its highest expression with 25.8% in Río Colorado in tillering, 10.7% in jointing and 7.9% in boot stage, compared to the control; Baviácora increases were up 12.6, 18.4 and 7.3% in these stages; height decreased to 8.9% in Río Colorado and 9.7% in Baviácora; the maximum increase of spikes m^{-2} was 66.9% in Río Colorado and 18.0% in Baviácora; harvest index increased 2.2% more on Río Colorado and 16.2% in Baviácora; the protein content was 52.9% more on Río Colorado and 7.5% in Baviácora; the yellow berry decreased to 100% in Río Colorado and 65% in Baviácora; and the yield of grain increased to 18.3% in Río Colorado and 25% in Baviácora.

Key words: Growth retardant, high, 'Río Colorado', 'Baviácora'.

3.3. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal que actualmente ocupa el segundo lugar en importancia desde el punto de vista de la producción mundial, ya que a partir del ciclo 1998-1999 ha sido superado por el maíz; sin embargo, su producción ha ocurrido con altibajos desde el ciclo 1990-1991 hasta el 2008-2009, aunque la tendencia ha sido a incrementarse desde 2004-2005 hasta 2008-2009, de tal manera que mientras que en el ciclo 1990-1991 la producción fue 588.6 millones de toneladas, en el ciclo 2008-2009 llegó a ser de 676.3 millones (Ochoa y Ortega, 2008).

Según Ochoa y Ortega (2009), en el 63.6% de los ciclos del período 1998-2009, la producción de trigo ha sido superior al consumo mundial; es decir, se logró satisfacer el consumo mundial y hubo excedentes; no obstante, en el 36.4% de los ciclos del mismo período, la producción de trigo fue menor a lo que la población mundial necesitó para su consumo, lo que a su vez indica que el inventario de trigo también ha tenido altibajos, pero a partir del ciclo 2008-2009 se ha observado un incremento del inventario.

Por eso, en lo que va de la presente década, y más concretamente en la mitad de ésta, la demanda mundial de trigo se incrementó de manera considerable, en tanto que la producción no aumentó en la misma proporción, ya sea por los bajos niveles de productividad en algunas regiones o bien por problemas climáticos, lo que dio como resultado que las reservas mundiales del grano se vieran mermadas de manera importante (Ochoa y Ortega, 2009).

La estructura del paclobutrazol [(2RS, 3RS)-1-(4-clorofenil)-4,4-dimetil-2-(1*h*-1,2,4-triazol-1-il) pentan-3-ol] 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 (Clouse and Sasse, 1998).

Buscando alternativas para mejorar calidad, crecimiento y desarrollo de plantas, en las dos décadas pasadas se descubrió que el PBZ incrementa el crecimiento de raíces (Watson, 1996) o aumenta la relación de raíces por brotes en plantas de

Prunus persica L. o durazno (Litembani and Taylor, 1989), así como en *Pyracantha* y *Juniperus* (Ruter, 1994). Además, el PBZ ha ocasionado reducción en la expansión de hojas en muchas especies de árboles (Burch *et al.*, 1996). Sin embargo, esta sustancia tiene alta residualidad en el suelo, por lo que puede provocar contaminación de mantos freáticos y riesgo potencial de translocación en los frutos; no obstante, dicha residualidad depende de que se hagan aplicaciones consecutivas a través del tiempo (Osuna *et al.*, 2001).

El PBZ es una sustancia que ocasiona efectos en el crecimiento de raíces y parte aérea de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) variedad 'California Wonder' y de una población segregante de berenjena (*Solanum melongena*) variedad 'Dalia'. El PBZ incrementa la biomasa de raíz y de la parte aérea de ambas especies; en la primera, la dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua puede incrementar hasta 1.1 veces la longitud de la raíces, 3.7 veces la materia fresca y 13 veces la materia seca de las mismas; pero también puede incrementar en 1.5 y 6.7 veces la materia fresca y seca de la parte aérea de la misma especie. No obstante, en berenjena puede incrementar en 1.3 veces la materia fresca y en 71% la materia seca de la raíz; asimismo, 81% la materia fresca y 89% la materia seca de la parte aérea (Partida *et al.*, 2007).

También ocasiona efectos en la parte aérea de plántulas de tomate y chile, de tal forma que cuando se aplica sobre plántulas de tomate con dos o cuatro hojas verdaderas en dosis de 100, 150 ó 200 mg de PBZ L⁻¹ de agua, la altura de plantas se retarda; mientras que cuando se aplica en dosis de 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua, la altura se incrementa. Asimismo, en chile el PBZ retarda el crecimiento de los tipos chile bell y anaheim con 200 mg L⁻¹, en jalapeño con 100, en serrano con 100 ó 200, y en caribe con 200 ó 250 (Velázquez *et al.*, 2008).

En trigo, el paclobutrazol (PBZ) disminuye ligeramente la altura de las plantas al ser aplicado en dosis de 40, 80 ó 120 g ha⁻¹; en tanto que la producción de materia seca de la parte aérea no varía, y el rendimiento se incrementa en relación al testigo (Espindula *et al.*, 2009).

Algunas veces el grano de trigo no tiene la calidad requerida por la industria, debido a la presencia de alto porcentaje de granos con panza blanca, lo cual no

afecta el rendimiento (Solis y Díaz de León, 2001). El primero en utilizar el término panza blanca fue Headden (1915), para referirse a los granos que presentan un aspecto moteado a causa de manchas que varían de blanco a blanco amarillento con respecto a las capas externas de la semilla. Manchas de aspecto almidonoso que en algunas ocasiones se presentan en pequeñas áreas, pero pueden llegar a cubrir la mitad o toda la semilla (Sharma *et al.*, 1983), por lo que es considerada como una enfermedad fisiológica que disminuye el contenido de proteínas en los granos de trigo (Aadmodt and Torrie, 1935a; 1935b).

La panza blanca es considerada como un serio desorden en semillas del trigo panadero, trigo duro y triticale, que surge por deficiencia de nitrógeno en el suelo, afectando seriamente el contenido de proteínas del grano y, por tanto, la calidad de la harina en trigo panadero y de la pasta en trigo duro (Ammiraju *et al.*, 2002).

En trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*), la expresión de la panza blanca se ve favorecida por baja fertilización nitrogenada, uso de variedades sensibles, siembra en la primera quincena de diciembre y por el número de riegos aplicados; no obstante, la panza blanca tiene mayor asociación con la dosis de nitrógeno que con cualquiera de los otros factores mencionados, sin que su incidencia esté correlacionada con el rendimiento (Solis y Díaz de León, 2001).

Partida *et al.* (2007) refieren que las mejores dosis de nitrógeno para disminuir panza blanca del grano de trigo harinero son 110, 140 y 150 kg de N ha⁻¹, ya que ellos descubrieron que la enfermedad disminuyó 41.7, 47.9 y 39.6%, respectivamente, y el rendimiento se incrementó en los respectivos 94.1, 123.4 y 99.8%, con relación al testigo. Aunque otras dosis de nitrógeno también disminuyen significativamente la panza blanca, pero no son de las mejores para inducir un incremento del rendimiento de grano.

La clorofila se puede medir en forma indirecta con el clorofilómetro Spad 502, un dispositivo que captura la longitud de onda emitida por la hoja y que se correlaciona a la clorofila con el nitrógeno foliar (Schepers *et al.*, 1992).

El medidor de clorofila Spad 502 es un instrumento que permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja y, por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una simple lectura (Piekielek y Fox, 1992; Jeminson y Lytle, 1996).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto que induce el paclobutrazol en el contenido de clorofila, altura de plantas, materia seca, peso de

granos, índice de cosecha, número de espigas m^{-1} lineal, granos por espiga, peso de granos con y sin panza blanca y rendimiento del trigo.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el ejido Nuevo León, del Valle de Mexicali, B. C., en sistemas de producción de Molinera del Valle y Tridegen, S. A. de C. V., donde se utilizaron las variedades de trigo 'Río Colorado' y 'Baviácora'.

La siembra se llevó a cabo el 17 de Diciembre de 2009 en condiciones de campo abierto, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde las parcelas experimentales constaron de 20 m², con separación de 1.0 m entre camas, donde se hizo la siembra a tierra venida, ya que el suelo es de textura media con pH=7.2, CE=7.6 dS m⁻¹, N residual=147 kg ha⁻¹ y P=28.7 kg ha⁻¹; se dio un riego por gravedad en presiembra, así como los riegos de auxilio por gravedad necesarios para inducir el mejor crecimiento y desarrollo de las plantas.

Todas las parcelas experimentales fueron manejadas con la fórmula 332-56-00 (147 kg de N residual+185 a partir de urea y UAN-32; de P fueron 28.7 kg residuales+27.3 obtenidos de ácido fosfórico). Del total de N aplicado, 35% se adicionó en el riego de aniego, y el resto distribuidos entre el segundo y el quinto riego de auxilio, o fases Z 3 y Z 7 según la escala de Zadoks *et al.* (1974); en tanto que el total de P se aplicó en el primer riego de auxilio, o fase Z 2 de acuerdo con los mismos autores. Las plantas fueron protegidas con herbicidas, por lo que el 20 de Febrero se aplicó la mezcla pinoxaden 0.6 L + triasulfurón 10 g + 2-4-D 0.75 L ha⁻¹.

Las variables de estudio fueron: verdor del follaje en intensidad y permanencia, altura de plantas, índice de cosecha y rendimiento de grano ha⁻¹. Los tratamientos aplicados fueron 0 (testigo), 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg de paclobutrazol (PBZ) L⁻¹ de agua. Las dosis se aplicaron con una bomba manual, en una sola ocasión, al inicio de la etapa de encañe, específicamente cuando las plantas formaron el primer nudo perceptible del tallo principal.

La densidad de población fue de aproximadamente 100 plantas por m², ya que se utilizaron 46 kg de semilla por ha, y la siembra se hizo en surcos a doble hilera. El manejo de las plantas se realizó en forma comercial, incluida la fertilización;

asimismo, los riegos para incorporar el fertilizante y facilitar la absorción del mismo por parte de las plantas.

Todas las variables se evaluaron en una muestra de 10 plantas seleccionadas al azar. El verdor del follaje se midió ocho días después de la aplicación del PBZ, para lo que se utilizó el Spad-502 en la parte media de la lámina foliar; la altura se midió a partir de la superficie del suelo hasta la parte apical de la última espiguilla de la espiga; el índice de cosecha se determinó con el porcentaje del peso del grano de 25 espigas con respecto al peso seco total de 25 tallos principales con hojas y espiga; y el rendimiento de grano por hectárea se determinó a partir de lo cosechado en la parcela útil. Todos los datos se sometieron a análisis de varianza y los promedios a la comparación múltiple con la prueba de Tukey con $\alpha \leq 0.05$.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El verdor de las plantas de la variedad Río Colorado se incrementó 14.4, 17.7, 21.1, 22.4, 19.7, 25.8 y 16.3% con las respectivas dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua comparado con el verdor de las plantas testigo, cuando el PBZ se aplicó en la etapa de amacollamiento (Cuadro 2); en la etapa de encañe, los incrementos fueron de 6.1, 17.7, 13.4, 7.8, 7.8, 7.8 y 10.7% con las dosis de 50, 100, 150, 200, 250 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua, respectivamente, ya que con 300 mg de PBZ L⁻¹ de agua el verdor disminuyó 1.6% en comparación al testigo; en la etapa de embuche, el verdor se incrementó 2.2, 7.9, 2.8, 4.4, 1.2, 4.4 y 1.8% en el mismo orden de todas las dosis utilizadas en comparación con el verdor del testigo.

En el mismo cuadro se puede observar que, cuando el PBZ se aplicó en la etapa de amacollamiento de la variedad Baviácora, el verdor del follaje sólo se incrementó en las plantas que recibieron 50, 100, 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua, ya que en aquéllas que fueron tratadas con 150 ó 200 mg de PBZ, el verdor disminuyó en los respectivos 0.5 y 1.6%; en la etapa de encañe, el 100% de las dosis ocasionaron incrementos en comparación con el verdor del testigo, los cuales fueron de 11.5, 18.4, 10.4, 10.7, 8.8, 13.2 y 6.6% con las respectivas dosis de 50, 100, 150, 200, 250 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua.; en cambio, en la etapa de embuche, el verdor se incrementó 6.7, 2.6, 3.2, 7.3, 3.2 y 1.2%, con las dosis de 50, 100, 200, 250, 300 ó 350 mg de PBZ, toda vez que con 150 mg de PBZ el verdor disminuyó -0.6% con respecto al del testigo.

Lo anterior permite deducir que el PBZ es una sustancia que hizo que el verdor del follaje fuera más intenso en las dos variedades, y que dicha intensidad del verdor perdurara por más tiempo en las plantas de trigo, lo que sin duda influyó en la eficiencia fotosintética de las plantas, ya que según Fenech *et al.* (2009) los valores del Spad 502 tienen 99.9% de correlación con los valores de concentración de clorofila determinada con espectrofotómetro, aplicando el método de Arnon (1949).

Cuadro 2. Intensidad y permanencia del verdor del follaje en tres etapas fenológicas de dos cultivares de trigo tratados con paclobutrazol.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	<u>Cultivares, etapas fenológicas y verdor en valores del Spad 502</u>					
	Cultivar Río Colorado			Cultivar Baviácora		
	Amaco- llamiento	Encañe	Embuche	Amaco- llamiento	Encañe	Embuche
0 (testigo)	36.1 b	37.3 a	49.5 b	38.1 bc	36.4 c	49.6 a
50	41.3 ab	39.6 bc	50.6 b	39.7 abc	40.6 ab	52.9 a
100	42.5 a	43.9 a	53.4 a	42.9 a	43.1 a	50.9 a
150	43.7 a	42.3 ab	50.9 ab	37.9 bc	40.2 ab	49.3 a
200	44.2 a	40.2 abc	51.7 ab	37.5 c	40.3 ab	51.2 a
250	43.2 a	40.2 abc	50.1 b	39.8 abc	39.6 bc	53.2 a
300	45.4 ab	36.7 c	51.7 ab	41.3 ab	41.2 ab	51.2 a
350	42.0 ab	41.3 ab	50.4 b	39.8 abc	38.8 bc	50.2 a

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.005$).

Los efectos del PBZ en la altura, espigas m⁻² e índice de cosecha de las plantas de los cultivares Río Colorado y Baviácora se pueden observar el Cuadro 3, de tal manera que con respecto a la altura de plantas el PBZ ocasionó disminuciones de 3.3, 3.8, 4.2, 8.6, 7.5, 6.8 y 8.9% con las dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg L⁻¹ de agua, respectivamente, comparadas con la altura del testigo, aunque las disminuciones que ocurrieron con diferencias estadísticas sólo fueron las ocasionadas por 200, 250, 300 ó 350 mg de PBZ. En la variedad Baviácora, la misma característica disminuyó 9.7, 6.6, 3.1, 8.3, 8.5, 7.8 y 7.8% con las dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg L⁻¹ de agua, respectivamente, en comparación con la altura del testigo. No obstante, las diferencias estadísticas sólo se lograron con el 85.7% de las dosis de PBZ utilizadas.

El número de espigas m⁻² se incrementó en todas las parcelas con la variedad Río Colorado que fueron tratadas con PBZ en relación con las parcelas testigo, en donde los incrementos fueron de 45.2, 33.5, 62.6, 58.8, 66.9, 46.1 y 19.6% con las respectivas dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg L⁻¹ de agua, aunque las diferencias estadísticas sólo se dieron entre el promedio del testigo y los que se obtuvieron con el 85.7% de las dosis de PBZ que se aplicaron. Algo similar ocurrió

en la variedad Baviácora, en donde con el mismo 85.7% de las dosis de PBZ, los incrementos fueron de 18.0, 16.9, 1.9, 2.1, 12.9 y 10.1% en las parcelas que se aplicaron 100, 150, 200, 250, 300 ó 350 mg L⁻¹ de agua, respectivamente, ya que en la parcela que recibió 50 mg de PBZ el número de espigas m⁻² disminuyó 8.2%. El índice de cosecha no varió estadísticamente en los dos cultivares (Cuadro 3), y sólo se observó un incremento de 2.2% en la variedad Río Colorado, en donde se aplicaron 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua; mientras que en el cultivar Baviácora fue de 16.2% con la dosis de 250 mg de PBZ.

Cuadro 3. Respuesta en altura de plantas, espigas por metro cuadrado e índice de cosecha de dos variedades de trigo.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares		Cultivares		Cultivares	
	Río Colorado	Baviácora	Río Colorado	Baviácora	Río Colorado	Baviácora
	Altura (cm)		Espigas m ⁻²		Índice de cosecha	
0 (testigo)	76.5 a	108.2 a	135.7 d	267.0 ab	62.4 a	49.3 a
50	74.0 ab	97.7 c	197.0 abc	245.0 b	50.8 a	46.7 a
100	73.6 abc	101.1 bc	181.2 bc	315.0 a	55.8 a	48.1 a
150	73.3 abc	104.8 ab	220.7 ab	312.2 a	63.8 a	48.3 a
200	69.9 bc	99.2 c	215.5 ab	272.0 ab	55.0 a	49.4 a
250	70.8 bc	99.0 c	226.5 a	272.5 ab	52.0 a	57.3 a
300	71.3 bc	99.8 bc	198.2 abc	301.5 ab	51.8 a	46.6 a
350	69.7 c	99.9 c	162.7 cd	294.0 ab	51.8 a	40.4 a

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.005$).

El contenido de proteína se incrementó en el 100% de las parcelas sembradas con la variedad Río Colorado y tratadas con PBZ (Cuadro 4), donde los respectivos incrementos fueron de 14.9, 44.8, 52.9, 47.1, 42.5, 41.4 y 42.5% con las dosis de 50, 100, 150, 200, 250 300, ó 350 mg L⁻¹ de agua; sin embargo, la respuesta fue diferente en la variedad Baviácora, en la que los incrementos sólo se observaron en las parcelas que se cultivaron con 50, 100, 300 ó 350 mg de PBZ, cuyos respectivos incrementos fueron de 7.5, 4.5, 3.8 y 5.3%.

La panza blanca del grano disminuyó significativamente en la variedad Río Colorado (Cuadro 4), lo cual fue 87.5, 100, 93.8, 87.5, 91.7, 89.6 y 97.1% en las

parcelas que recibieron 50, 100, 150, 200, 250 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua, respectivamente. Mientras que en la variedad Baviácora la panza blanca sólo disminuyó con el 85.7% de las dosis de PBZ que se aplicaron (50, 100, 200, 250, 300 ó 350 mg), en la que las respectivas disminuciones fueron de 60, 45, 35, 45, 60 y 65%.

Cuadro 4. Proteína, panza blanca y rendimiento de grano en dos cultivares de trigo tratados con paclobutrazol.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Cultivares		Cultivares		Cultivares	
	Río Colorado	Baviácora	Río Colorado	Baviácora	Río Colorado	Baviácora
	Contenido de proteína (%)		Panza blanca (g)		Rendimiento (t ha ⁻¹)	
0 (testigo)	8.7 c	13.3 bc	4.8 a	2.0 ab	4.858 a	5.629 b
50	10.0 b	14.3 a	0.6 bc	0.8 c	4.852 a	5.304 b
100	12.6 a	13.9 ab	0.0 c	1.1 bc	5.536 a	5.748 b
150	13.3 a	12.8 d	0.3 bc	2.3 a	5.746 a	6.688 a
200	12.8 a	12.9 cd	0.6 bc	1.3 bc	4.877 a	7.039 a
250	12.4 a	13.0 cd	0.4 bc	1.1 bc	5.126 a	5.904 b
300	12.3 a	13.8 ab	0.5 bc	0.8 c	5.114 a	5.677 b
350	12.4 a	14.0 a	1.4 b	0.7 c	5.490 a	5.685 b

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.005$).

El promedio de rendimiento de grano de la variedad Río Colorado en las parcelas tratadas con PBZ no fue estadísticamente diferente del promedio del testigo (Cuadro 4); no obstante, se observaron incrementos de 14.0% (0.678 t ha⁻¹) y 18.3% (0.888 t ha⁻¹) en las parcelas tratadas con 100 ó 150 mg. En cambio, en la variedad Baviácora el rendimiento se expresó con diferencias estadísticas, específicamente entre los promedios que se obtuvieron en las parcelas cultivadas con 150 ó 200 mg de PBZ L⁻¹ de agua, en relación al del testigo y del resto de promedios que se obtuvieron de las parcelas tratadas con las otras dosis de PBZ, lo que llegó a ser de 18.8% (1.059 t ha⁻¹) y 25.0% (1.410 t ha⁻¹).

3.6. CONCLUSIONES

El PBZ ocasionó que el verdor de las plantas se incrementara en los dos cultivares de trigo, lo que a su vez permaneció durante gran parte del ciclo de vida de las plantas, ya que la mayor intensidad del verdor así se determinó hasta en tres etapas fenológicas.

La altura de las plantas disminuyó en los dos cultivares, específicamente con el 57% de las dosis de PBZ en la variedad Río Colorado, mientras que en la variedad Baviácora sucedió con el 85.7% de las dosis; sin embargo, el número de espigas m^{-2} se incrementó con el 85.7% de las dosis en la variedad Río Colorado, en tanto que en la variedad Baviácora los mayores incrementos se observaron en las parcelas cultivadas con el 28.6% de dichas dosis.

Aunque el índice de cosecha no varió estadísticamente en los dos cultivares, el mayor incremento en la variedad Río Colorado ocurrió en las parcelas cultivadas con 150 mg de PBZ; mientras que en Baviácora se observó en aquellas parcelas que recibieron 250 mg de la misma sustancia. Sin embargo, el mayor efecto en el rendimiento de grano de la variedad Río Colorado fue con la dosis de 150 mg de PBZ L^{-1} de agua, mientras que en la variedad Baviácora fue con las de 150 y 200 mg.

3.7. LITERATURA CITADA

- Aamodt, O. S. and J. H. Torrie. 1935a. Studies on the inheritance of the relation between kernel texture and protein content in several spring wheat crosses. *Canad. Jour. of Res. Section C Bot. Sci.* 13: 202-219.
- Aamodt, OS, and J. H. Torrie. 1935b. Kernel texture as an indicator of quality in hard red spring wheats. *Canad. Jour. of Res. Section C Bot. Sci.* 13: 79-88.
- Ali, A. R. 2009. Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with paclobutrazol. *Inter. Jour. of Veg. Sci.* 15: 173–184
- Ammiraju, J. S. S. , B. B. Dholakia, G. Jawdekar, D. K. Santra, V. S. Gupta, M. S. Roder, H. Singh, M. D. Lagu, H. S. Dhaliwal, V. S. Rao and P. K. Ranjekar. 2002. Inheritance and identification of DNA markers associated with yellow berry tolerant in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphy.* 123: 229-233.
- Arnon, D. J. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24:1-15.
- Burch, P. L., R. H. Wells, W. N. Kline. 1996. Red maple and silver maple growth evaluated 10 years after application of paclobutrazol tree growth regulator. *Jour. Arboric.* 22: 61-66.
- Clouse, S. D., J. M. Sasse. 1998. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 427-451.
- Espindula, M. C., V. S. Rocha, J. A. S. Grossi, M. A. Souza, L. T. Souza y L. F. Favarato. 2009. Use of growth retardants in wheat. *Planta Daninha Viciosa*, 27(2): 379-387.
- Fenech, L. L., Troyo D. E., Trasviña C. M., Ruiz E. F., Beltrán M. A., Murillo A. B., García H. J. y Zamora S. S. 2009. Relación entre un método no destructivo y uno de extracción destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas de plántula de albahaca (*Ocimum basilicum* L). *Universidad y Ciencia* 25 (1) 99-102.
- Headden, W. P. 1915 Yellow berry in wheat. Its cause and prevention. *Bull* 205-38. *Colo. Agr. Exp. Sta.*

- Jemison, J. M. and D. E. Lytle. 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *Jour. of Prod. Agric.* 9: 108-113.
- Litembani, S., and B. H. Taylor. 1989. Growth and development of young peach trees as influenced by foliar sprays of paclobutrazol or XE-1019. *HortScience* 24: 65-68.
- Ochoa, B. R., C. Ortega.-Ramos. 2008. Reservas y seguridad alimentaria. *Claridades Agropecuarias* 183: 13-46.
- Ochoa, B. R., C. Ortega-Ramos. 2009. Reservas alimentarias físicas y virtuales. *Claridades Agropecuarias* 189: 3-14.
- Osuna, GJA, Baez SR, Medina UVM, Chávez CX (2001) Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivar Tommy Taquín. *Rev. Chap. Ser. Hort.* 7: 275-282.
- Partida-Ruvalcaba, L., T. J. Velázquez-Alcaraz, B. Acosta-Villegas, F. Ayala-Tafoya, T. Díaz-Valdés, J. F. Inzunza-Castro, J. E. Cruz-Ortega. 2007. Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimienta morrón y berenjena. *Rev. Fit. Mex.* 30: 145-149.
- Partida-Ruvalcaba, L., T. J. Velázquez-Alcaraz, T. Díaz-Valdés, B. Acosta-Villegas, J. F. Inzunza-Castro. 2007. Nitrógeno, disminución de panza blanca del grano y aumento del rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.). *Rev. Elect. Granma Ciencia* 11: 1-9.
- Piekielek, W. P. and R. H. Fox. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. Jour.* 84: 59-65.
- Ruter, J. M. 1994. Growth and landscape establishment of *Pyracantha* and *Juniperus* after application of paclobutrazol. *HortScience* 29: 1318-1320.
- Schepers, J. S., D. D. Francis, M. Vigil and F. E. Below. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Soil Sci. Plant Anal.* 23: 2173-2187.
- Sharma, G. C., A. D. Paul., J. A. Bietz. 1983. Nitrogen fertilization effects and anatomical, protein and amino acid characteristics of yellow berry in triticale. *Crop Sci.* 23: 699-703.

- Solis-Moya E., J. G. Díaz de León-Tobías. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. *Terra Latinoamericana* 19: 375-383.
- Velázquez-Alcaraz, T. J., L. Partida-Ruvalcaba, B. Acosta-Villegas, F. Ayala-Tafoya. 2008. Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. *Univ. y Cienc.* 24: 21-28.
- Watson, G. W. 1996. Tree root system enhancement with paclobutrazol. *Journal Arboriculture* 22: 211-217.

IV. CRECIMIENTO, PROTEÍNA, PANZA BLANCA Y RENDIMIENTO DE TRIGO CULTIVADO CON FERTILIZANTE NITROGENADO Y PACLOBUTRAZOL

GROWTH, PROTEIN, YELLOW BERRY AND WHEAT YIELD GROWN WITH NITROGEN FERTILIZER AND PACLOBUTRAZOL

4.1. RESUMEN

Para conocer el efecto del paclobutrazol (PBZ) en contenido de clorofila (medido con spad 502), altura de plantas, materia seca, peso de granos, índice de cosecha, número de espigas m^{-1} lineal, granos por espiga, peso de granos con y sin panza blanca y rendimiento del trigo, se aplicaron dosis de 0 (testigo), 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg de PBZ L^{-1} de agua sobre el follaje del cultivar 'Romoga F-96', fertilizado con 250 kg de N ha^{-1} en el primer riego de auxilio. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco repeticiones y parcelas útiles de un surco de 8 m de largo. Las dosis se aplicaron sólo una vez con una bomba manual. La clorofila se incrementó de 6.8-13.6% en relación con la del testigo; la altura disminuyó de 5.2-10.1%; la materia seca se incrementó de 2.1-6.6%, el peso de granos de 4.4-9.4%, el índice de cosecha se incrementó hasta 3.2%, las espigas m^{-1} lineal de 15.5-26.9%, granos por espiga de 0.9-10.5%; sin embargo, el contenido de proteína del grano se incrementó de 8.0-15.3%, la panza blanca disminuyó de 42.9-63.1%, y el rendimiento de grano se incrementó de 24.8-30.1% con respecto al testigo. Lo anterior indica que el PBZ se puede usar en dosis de 150 a 200 mg L^{-1} de agua, para incrementar clorofila, número de granos por espiga, proteína del grano, disminuir panza blanca e incrementar rendimiento de grano.

Palabras clave: Retardante de crecimiento, altura, 'Romoga F-96', granos por espiga.

4.2. ABSTRACT

To see the effect of paclobutrazol (PBZ) in content of chlorophyll (measured with spad 502), height of plants, dry matter, linear index of harvest, spikes m^{-1} number, grains weight, grains by Spike with and without yellow berry and yield of the wheat, Was applied dose of 0 (control), 50, 100, 150, 200, 250, 300 and 350 mg of PBZ by L^{-1} of water above the foliage of the cultivar 'Romoga F-96' fertilized with 250 kg N ha^{-1} in the first irrigation relief. The experimental design was complete blocks at random with five repetitions; useful plots a 8 m long Doses applied only once with a hand pump. The chlorophyll increased from 6.8-13.6% in relation to the control; the height decreased 5.2-10.1%; the dry matter increased of 2.1-6.6%, the weight of grains of 4.4-9.4%, harvest index increased to 3.2%, the spikes m^{-1} linear 15.5-26.9%, grains by spike from 0.9-10.5%; however, grain protein content was increased to 8.0-15.3 %, yellow berry decreased from 42.9-63.1% and grain yield increased from 24.8-30.1% compared with the control. This indicates that PBZ can be used, in dosage from 150-200 mg L^{-1} of water, to increase chlorophyll, number of grains by spike, grain protein, reduce yellow berry and increase yield of grain.

Index words: Growth retardant, height, 'Romoga F-96', grain by spike

4.3. INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cereal que actualmente ocupa el segundo lugar en importancia desde el punto de vista de la producción mundial, ya que a partir del ciclo 1998-1999 ha sido superado por el maíz; sin embargo, su producción ha ocurrido con altibajos desde el ciclo 1990-1991 hasta el 2008-2009, aunque la tendencia ha sido a incrementarse desde 2004-2005 hasta 2008-2009, de tal manera que mientras que en el ciclo 1990-1991 la producción fue 588.6 millones de toneladas, en el ciclo 2008-2009 llegó a ser de 676.3 millones (Ochoa y Ortega, 2008).

Según Ochoa y Ortega (2009), en el 63.6% de los ciclos del período 1998-2009, la producción de trigo ha sido superior al consumo mundial; es decir, se logró satisfacer el consumo mundial y hubo excedentes; no obstante, en el 36.4% de los ciclos del mismo período, la producción de trigo fue menor a lo que la población mundial necesitó para su consumo, lo que a su vez indica que el inventario de trigo también ha tenido altibajos, pero a partir del ciclo 2008-2009 se ha observado un incremento del inventario.

Por eso, en lo que va de la presente década, y más concretamente en la mitad de ésta, la demanda mundial de trigo se incrementó de manera considerable, en tanto que la producción no aumentó en la misma proporción, ya sea por los bajos niveles de productividad en algunas regiones o bien por problemas climáticos, lo que dio como resultado que las reservas mundiales del grano se vieran mermadas de manera importante (Ochoa y Ortega, 2009).

La estructura del paclobutrazol [(2RS, 3RS)-1-(4-clorofenil)-4,4-dimetil-2-(1h-1,2,4-triazol-1-il) pentan-3-ol] 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 (Clouse and Sasse, 1998).

Buscando alternativas para mejorar calidad, crecimiento y desarrollo de plantas, en las dos décadas pasadas se descubrió que el PBZ incrementa el crecimiento

de raíces (Watson, 1996) o aumenta la relación de raíces por brotes en plantas de *Prunus persica* L. o durazno (Litembani and Taylor, 1989), así como en *Pyracantha* y *Juniperus* (Ruter, 1994). Además, el PBZ ha ocasionado reducción en la expansión de hojas en muchas especies de árboles (Burch *et al.*, 1996). Sin embargo, esta sustancia tiene alta residualidad en el suelo, por lo que puede provocar contaminación de mantos freáticos y riesgo potencial de translocación en los frutos; no obstante, dicha residualidad depende de que se hagan aplicaciones consecutivas a través del tiempo (Osuna *et al.*, 2001).

El PBZ es una sustancia que ocasiona efectos en el crecimiento de raíces y parte aérea de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) variedad 'California Wonder' y de una población segregante de berenjena (*Solanum melongena*) variedad 'Dalia'. El PBZ incrementa la biomasa de raíz y de la parte aérea de ambas especies; en la primera, la dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua puede incrementar hasta 1.1 veces la longitud de la raíces, 3.7 veces la materia fresca y 13 veces la materia seca de las mismas; pero también puede incrementar en 1.5 y 6.7 veces la materia fresca y seca de la parte aérea de la misma especie. No obstante, en berenjena puede incrementar en 1.3 veces la materia fresca y en 71% la materia seca de la raíz; asimismo, 81% la materia fresca y 89% la materia seca de la parte aérea (Partida *et al.*, 2007).

También ocasiona efectos en la parte aérea de plántulas de tomate y chile, de tal forma que cuando se aplica sobre plántulas de tomate con dos o cuatro hojas verdaderas en dosis de 100, 150 ó 200 mg de PBZ L⁻¹ de agua, la altura de plantas se retarda; mientras que cuando se aplica en dosis de 250, 300 ó 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua, la altura se incrementa. Asimismo, en chile el PBZ retarda el crecimiento de los tipos chile bell y anaheim con 200 mg L⁻¹, en jalapeño con 100, en serrano con 100 ó 200, y en caribe con 200 ó 250 (Velázquez *et al.*, 2008).

En pepino, el paclobutrazol ocasiona aumento en el número de raíces, longitud y diámetro de las mismas, cuando las semillas son remojadas en solución con 40 mg de PBZ L⁻¹ de agua, pero la longitud del hipocótilo se reduce. Además, las plantas que resultan de semillas tratadas con paclobutrazol y refrigeración durante 4 días a 5 °C tienen mayor concentración y fluorescencia de clorofila, por lo que

son más eficientes fotosintéticamente en relación con las plantas testigo (Ali, 2009).

En trigo, el paclobutrazol (PBZ) disminuye ligeramente la altura de las plantas al ser aplicado en dosis de 40, 80 ó 120 g ha⁻¹; en tanto que la producción de materia seca de la parte aérea no varía, y el rendimiento se incrementa en relación al testigo (Espindula *et al.*, 2009).

Algunas veces el grano de trigo no tiene la calidad requerida por la industria, debido a la presencia de alto porcentaje de granos con panza blanca, lo cual no afecta el rendimiento (Solis y Díaz de León, 2001). El primero en utilizar el término panza blanca fue Headden (1915), para referirse a los granos que presentan un aspecto moteado a causa de manchas que varían de blanco a blanco amarillento con respecto a las capas externas de la semilla. Manchas de aspecto almidonoso que en algunas ocasiones se presentan en pequeñas áreas, pero pueden llegar a cubrir la mitad o toda la semilla (Sharma *et al.*, 1983), por lo que es considerada como una enfermedad fisiológica que disminuye el contenido de proteínas en los granos de trigo (Aadmodt and Torrie, 1935a; 1935b).

La panza blanca es considerada como un serio desorden en semillas del trigo panadero, trigo duro y triticale, que surge por deficiencia de nitrógeno en el suelo, afectando seriamente el contenido de proteínas del grano y, por tanto, la calidad de la harina en trigo panadero y de la pasta en trigo duro (Ammiraju *et al.*, 2002).

En trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*), la expresión de la panza blanca se ve favorecida por baja fertilización nitrogenada, uso de variedades sensibles, siembra en la primera quincena de diciembre y por el número de riegos aplicados; no obstante, la panza blanca tiene mayor asociación con la dosis de nitrógeno que con cualquiera de los otros factores mencionados, sin que su incidencia esté correlacionada con el rendimiento (Solis y Díaz de León, 2001).

Partida *et al.* (2007) refieren que las mejores dosis de nitrógeno para disminuir panza blanca del grano de trigo harinero son 110, 140 y 150 kg de N ha⁻¹, ya que ellos descubrieron que la enfermedad disminuyó 41.7, 47.9 y 39.6%, respectivamente, y el rendimiento se incrementó en los respectivos 94.1, 123.4 y 99.8%, con relación al testigo. Aunque otras dosis de nitrógeno también disminuyen significativamente la panza blanca, pero no son de las mejores para inducir un incremento del rendimiento de grano.

La clorofila se puede medir en forma indirecta con el clorofilómetro Spad 502, un dispositivo que captura la longitud de onda emitida por la hoja y que se correlaciona a la clorofila con el nitrógeno foliar (Schepers *et al.*, 1992).

El medidor de clorofila Spad 502 es un instrumento que permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja y, por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una simple lectura (Piekielek y Fox, 1992; Jeminson y Lytle, 1996).

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto que induce el paclobutrazol en el contenido de clorofila, altura de plantas, materia seca, peso de granos, índice de cosecha, número de espigas m^{-1} lineal, granos por espiga, peso de granos con y sin panza blanca y rendimiento del trigo.

4.4. 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° 37' 29" N y 107° 26' 36" O. Se utilizó la variedad 'Romoga F-96' por ser un material que produce granos de color ámbar, lo que facilita detectar manchas muy pequeñas de panza blanca. Se sembró el 19 de diciembre de 2009 en condiciones de campo abierto, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones, donde las parcelas útiles constaron de un surco de 8 m de largo, con separación de 0.80 m entre sí, sobre los cuales se sembró en seco y se dio el riego por gravedad para la germinación, así como tres riegos de auxilio por el mismo método, para inducir mejor el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Antes de la siembra se hizo análisis del suelo para conocer sus propiedades en pH=7.8, CE=0.66 dS m⁻¹, N=147 kg ha⁻¹ y P=28.7 kg ha⁻¹. Todas las parcelas experimentales (incluido el testigo) fueron fertilizadas con 250 kg de N ha⁻¹ a partir de urea, aplicando el 100% momentos antes del segundo riego de auxilio (45 días después de la siembra); además las plantas fueron protegidas con el insecticida Paratión Metílico 720 para controlar pulgones.

Las variables de estudio fueron: contenido de clorofila, altura de plantas, peso seco de raíces, peso seco de 25 tallos con hojas y espiga, peso de grano de 25 espigas, índice de cosecha, espigas m⁻¹ lineal, granos por espiga, peso de granos con y sin panza blanca (de una muestra de 50 g), contenido de proteína y rendimiento de grano por hectárea. En tanto que las dosis aplicadas de paclobutrazol fueron 0 (testigo), 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg L⁻¹ de agua. Cada dosis se aplicó en una sola ocasión, con una bomba manual. La aplicación del paclobutrazol se hizo cuando las plantas estuvieron en la etapa fenológica de formación de hijuelos o amocollamiento.

Las variables de clorofila y altura de plantas se evaluaron en una muestra de 20 plantas seleccionadas al azar, la primera en valores Spad-502 (Minolta) en la parte media de la lámina foliar, mientras que la segunda se midió a partir de la superficie

del suelo hasta la base de la espiga; el peso seco de raíces se determinó en plantas cultivadas en macetas con capacidad para 10 kg de suelo, en donde se dejó que las plantas se desarrollaran hasta formar grano lechoso, para luego lavar raíces y secarlas hasta peso constante en estufa con 60 °C; la materia seca (peso seco) se determinó en 25 tallos principales con hojas y espiga; el peso de granos con base al peso de granos de 25 espigas de tallos principales; el índice de cosecha se determinó con el porcentaje del peso del grano de 25 espigas con respecto al peso seco total de 25 tallos principales con hojas y espiga; el número de espigas se determinó en un m⁻¹ lineal; el número de granos por espiga en 10 espigas de aproximadamente el mismo tamaño en los tallos principales; para el contenido de proteína se utilizó el método Kjeldahl; la panza blanca se determinó a partir de una muestra de 50 g de grano, de donde se seleccionaron los granos con y sin la enfermedad; y el rendimiento de grano por hectárea se determinó a partir de lo cosechado en la parcela útil.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 5 se indican los promedios de valores spad para el contenido de clorofila, el cual fue superior en 6.8, 13.6, 9.3, 9.6, 12.1, 10.6 y 9.8% con las respectivas dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg de PBZ L⁻¹ de agua, comparado con el contenido de clorofila del testigo. Estos incrementos en clorofila tienen relación con lo descubierto por Ali (2009) en plantas de pepino, quien también observó incremento de la concentración de clorofila y mayor eficiencia fotosintética en plantas obtenidas a partir de semillas remojadas en solución con paclobutrazol.

Sin embargo, la altura de plantas disminuyó 5.3, 5.8, 5.2., 8.4, 6.9, 6.1 y 10.2% con las mismas dosis, respectivamente, con respecto a la del testigo (Cuadro 5). Resultados similares obtuvieron Espindula *et al.* (2009), al descubrir que el PBZ disminuyó ligeramente la altura de las plantas de trigo, al aplicarse en dosis de 40, 80 ó 120 g ha⁻¹. También se relacionan con los de Partida *et al.* (2007), ya que éstos encontraron disminuciones de altura en tomate y diferentes tipos de chiles, cuando aplicaron dosis de 100, 150 ó 200 mg de PBZ.

El peso seco de raíces se incrementó significativamente (2.3 y 3.3 veces más) con las dosis de 50 ó 200 mg de PBZ, a cuyos incrementos les siguieron los de 1.7, 1.6 y 1.6 veces más observados en las plantas que recibieron 250, 300 ó 350 mg de PBZ. Lo anterior tiene relación con los resultados de Watson (1996), ya que éste descubrió que el PBZ incrementó el crecimiento de raíces y aumentó la relación de raíces por brotes en plantas de *Prunus persica* L., así como en *Pyracantha* y *Juniperus* (Ruter, 1994). Asimismo, con los resultados de Partida *et al.* (2007), quienes observaron que el PBZ (en dosis de 150 mg) ocasionó efectos en el crecimiento de raíces de plántulas de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) variedad 'California Wonder' y de una población segregante de berenjena (*Solanum melongena*) variedad 'Dalia', cuyos incrementos fueron de 1.1 veces la longitud de la raíces y 13 veces la materia seca de las mismas en la primera especie; mientras que en berenjena incrementó 71% la materia seca de la raíz.

El peso seco de 25 tallos con follaje y espiga sólo tuvo tendencia a incrementarse (Cuadro 5), ya que éste se incrementó 2.6, 3.8, 2.1, 2.3 y 6.6% con respecto a la del testigo, sin que se dieran diferencias estadísticas entre los efectos de las dosis de PBZ. Estos resultados coinciden con los de Espindula *et al.* (2009), toda vez que ellos observaron que la producción de materia seca de la parte aérea no varió, cuando el trigo fue tratado con dosis de 40, 80 ó 120 g ha⁻¹.

El peso total de granos de las 25 espigas también tuvo tendencia a incrementarse, al igual que el índice de cosecha, no obstante, los mayores incrementos se dieron con el 87.5 % de las dosis utilizadas, los cuales oscilaron de 4.4 a 9.4% (Cuadro 5). Sin embargo, el mayor índice de cosecha se logró con 200 mg de PBZ, superando con 3.2 puntos porcentuales al índice del testigo.

Cuadro 5. Respuesta de la clorofila, altura de plantas, materia seca, peso de granos e índice de cosecha de la variedad 'Romoga F-96'.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Contenido de clorofila (valores spad)	Altura de Plantas (cm)	Peso seco de raíces (g)	Peso seco de 25 tallos con hojas y espiga (g)	Peso de grano de 25 espigas (g)	Índice de cosecha (%)
0 (testigo)	39.6 b	83.1 a	4.8 c	68.5 a	34.0 a	49.8 a
50	42.3 ab	78.7 b	11.0 b	70.3 a	35.5 a	50.4 a
100	45.0 a	78.3 bc	6.8 c	71.1 a	37.2 a	52.4 a
150	43.3 a	78.8 b	5.9 c	70.0 a	36.2 a	51.4 a
200	43.4 a	76.1 bc	15.8 a	70.1 a	37.1 a	53.0 a
250	44.4 a	77.4 bc	8.1 bc	63.2 a	32.5 a	49.8 a
300	43.8 a	78.0 bc	7.9 bc	73.0 a	36.5 a	50.1 a
350	43.5 a	74.6 c	7.9 bc	66.9 a	34.1 a	50.8 a

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

El número de espigas m⁻¹ lineal fue 29.6, 15.5 y 18.5% más en las parcelas cultivadas con 50, 150 ó 200 mg de PBZ, en comparación con dicha variable en el testigo. Asimismo, el número de granos por espiga tuvo su mayor expresión (3.9, 9.6 y 10.5%) en las parcelas que recibieron tratamiento con 50, 150 ó 200 mg de

PBZ, respectivamente, con respecto al promedio que se observó en el testigo Cuadro 6.

El peso de granos con panza blanca disminuyó 47.0, 42.9, 63.1, 49.0, 55.0, 49.7 y 51.7 % con las dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg de PBZ, respectivamente, en relación a lo que se obtuvo de la parcela testigo (Cuadro 6). En consecuencia, el testigo tuvo los respectivos incrementos significativos de 88.6, 75.3, 170.9, 96.1, 122.4, 98.7 y 106.1% con respecto al peso de granos con panza blanca de las parcelas tratadas con las dosis referidas.

El contenido de proteína se incrementó 8.0, 8.7, 12.0, 11.3, 13.3, 13.3 y 15.3% con las respectivas dosis de 50, 100, 150, 200, 250, 300 ó 350 mg de PBZ, pero el rendimiento de grano por hectárea fue 28.4, 24.8 y 30.1% más en las parcelas tratadas con 50, 150 ó 200 mg de PBZ en relación al rendimiento de la parcela testigo. Sin embargo, se desconoce el o los tipos de proteínas que se hayan incrementado por efecto del PBZ.

El incremento proteico se debió al efecto del PBZ, ya que las plantas tuvieron suficiente disponibilidad de N, puesto que en el suelo hubo 145 kg de N residual más 250 kg que se aplicaron en el segundo riego de auxilio. De tal manera que al disponer de suficiente N, las plantas sintetizaron más proteínas en comparación con las plantas testigo.

Cuadro 6. Caracteres componentes del rendimiento y panza blanca del grano de trigo en la variedad 'Romoga F-96'.

Dosis de PBZ (mg L ⁻¹ de agua)	Espigas m ⁻¹ lineal	Granos por espiga	Peso de granos sin panza blanca (g)	Peso de granos con panza blanca (g)	Contenido de proteína (%)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
0 (testigo)	262.4 bcd	43.9 a	47.02 a	2.98 a	15.0	4.414 bcd
50	340.0 a	45.6 a	48.42 a	1.58 b	16.2	5.666 ab
100	226.2 cd	44.3 a	48.30 a	1.70 b	16.3	4.214 d
150	303.0 abc	48.1 a	48.90 a	1.10 b	16.8	5.508 abc
200	311.0 ab	48.5 a	48.48 a	1.52 b	16.7	5.744 a
250	266.0 abcd	42.1 a	48.66 a	1.34 b	17.0	4.353 cd
300	219.4 d	47.6 a	48.50 a	1.50 b	17.0	3.985 d
350	282.4 abcd	43.4 a	48.56 a	1.44 b	17.3	4.817 abcd

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

La disminución de panza blanca se debió más al hecho de que las plantas tratadas con PBZ tuvieron color verde más intenso y realizaron fotosíntesis con mayor intensidad, lo cual ocasionó incremento en el número y longitud de raíces en relación con el testigo, como lo descubrieron Watson (1996) y Litembani y Taylor (1989), al observar que el PBZ incrementó el crecimiento de raíces o aumentó la relación de raíces por brotes en plantas de *Prunus persica* L. y durazno, o como lo descubrió Ruter (1994) en *Pyracantha* y *Juniperus* que produjeron más raíces al ser tratadas con PBZ. Dicho incremento de raíces también lo descubrieron Partida *et al.* (2007) en pimiento morrón (*Capsicum annuum*) variedad 'California Wonder' y en berenjena (*Solanum melongena*) variedad 'Dalia', ya que en la primera especie, la dosis de 150 mg de PBZ L⁻¹ de agua ocasionó incremento de raíces hasta 1.1 veces más en longitud, 3.7 veces en materia fresca y 13 veces en materia seca; mientras que en berenjena produjo incremento en 1.3 veces la materia fresca y en 71% la materia seca de raíces.

De tal manera que las plantas con PBZ fueron más eficientes para absorber nutrientes, entre ellos el magnesio y nitrógeno que son esenciales para la síntesis

de clorofila y proteínas, respectivamente, como lo notó Ali (2009) en plantas de pepino, que siendo tratadas con PBZ incrementaron el contenido de clorofila; asimismo, como descubrieron Aadmodt y Torrie (1935a, 1935b) en proteínas, ya que estos autores definieron a la panza blanca como una enfermedad fisiológica que disminuye el contenido de proteínas en los granos de trigo.

Además, los resultados de Solis y Díaz de León (2001) indican que en trigo duro (*Triticum turgidum* L. var. *Durum*) la panza blanca se favorece por baja fertilización nitrogenada en el suelo, lo que se corroboró por Ammiraju *et al.* (2002), al descubrir que la panza blanca surge por deficiencia de nitrógeno en el suelo, afectando seriamente el contenido de proteínas del grano y, por tanto, la calidad de la harina en trigo panadero y de la pasta en trigo duro.

Estos resultados indican que utilizando PBZ se incrementa el color verde de las plantas y, en consecuencia, el proceso fotosintético, así como otros procesos metabólicos para mejorar la calidad y el rendimiento de grano de la variedad 'Romoga F-96' de trigo harinero.

4.6. CONCLUSIONES

El paclobutrazol ocasionó efectos significativos e incrementó el contenido de clorofila de las hojas, el número de espigas por metro lineal, número de granos por espiga y disminuyó la altura de plantas. Dichos efectos también ocurrieron en el incremento del contenido de proteína del grano, disminución de la panza blanca e incremento del rendimiento de grano ha^{-1} , lo que permite sugerir que el PBZ y su aplicación en la etapa de amacollamiento o formación de hijuelos, son dos tecnologías que se pueden utilizar en trigo para incrementar o disminuir caracteres.

El PBZ fue el factor que indujo que se incrementaran o disminuyeran los caracteres evaluados, ya que todas las parcelas fueron tratadas con la misma dosis de N ha^{-1} ; sin embargo, todos los caracteres componentes del rendimiento que se evaluaron tuvieron efecto en el incremento del rendimiento de grano.

Los resultados indican que el PBZ se puede usar, en dosis de 150 a 200 mg L^{-1} de agua, para incrementar clorofila, componentes del rendimiento (tallos y espigas por planta, granos por espiga, peso de grano), proteína y rendimiento de grano por hectárea.

4.7 LITERATURA CITADA

- Ali, A. R. 2009. Improving germination performance and chilling tolerance in cucumber seedlings with paclobutrazol. *Inter. Jour. of Veg. Sci.* 15: 173–184
- Aamodt, O. S. and J. H. Torrie. 1935a. Studies on the inheritance of the relation between kernel texture and protein content in several spring wheat crosses. *Canad. Jour. of Res. Section C Bot. Sci.* 13: 202-219.
- Aamodt, OS, and J. H. Torrie. 1935b. Kernel texture as an indicator of quality in hard red spring wheats. *Canad. Jour. of Res. Section C Bot. Sci.* 13: 79-88.
- Ammiraju, J. S. S. , B. B. Dholakia, G. Jawdekar, D. K. Santra, V. S. Gupta, M. S. Roder, H. Singh, M. D. Lagu, H. S. Dhaliwal, V. S. Rao and P. K. Ranjekar. 2002. Inheritance and identification of DNA markers associated with yellow berry tolerant in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphy.* 123: 229-233.
- Burch, P. L., R. H. Wells, W. N. Kline. 1996. Red maple and silver maple growth evaluated 10 years after application of paclobutrazol tree growth regulator. *Jour. Arboric.* 22: 61-66.
- Clouse, S. D., J. M. Sasse. 1998. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 427-451.
- Espindula, M. C., V. S. Rocha, J. A. S. Grossi, M. A. Souza, L. T. Souza y L. F. Favarato. 2009. Use of growth retardants in wheat. *Planta Daninha Viciosa*, 27(2): 379-387.
- Headden, W. P. 1915 Yellow berry in wheat. Its cause and prevention. *Bull* 205-38. *Colo. Agr. Exp. Sta.*
- Jemison, J. M. and D. E. Lytle. 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *Jour. of Prod. Agric.* 9: 108-113.
- Litembani, S., and B. H. Taylor. 1989. Growth and development of young peach trees as influenced by foliar sprays of paclobutrazol or XE-1019. *HortScience* 24: 65-68.

- Ochoa, B. R., C. Ortega.-Ramos. 2008. Reservas y seguridad alimentaria. Claridades Agropecuarias 183: 13-46.
- Ochoa, B. R., C. Ortega-Ramos. 2009. Reservas alimentarias físicas y virtuales. Claridades Agropecuarias 189: 3-14.
- Osuna, GJA, Baez SR, Medina UVM, Chávez CX (2001) Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) cultivar Tommy Taquín. Rev. Chap. Ser. Hort. 7: 275-282.
- Partida-Ruvalcaba, L., T. J. Velázquez-Alcaraz, B. Acosta-Villegas, F. Ayala-Tafoya, T. Díaz-Valdés, J. F. Inzunza-Castro, J. E. Cruz-Ortega. 2007. Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. Rev. Fit. Mex. 30: 145-149.
- Partida-Ruvalcaba, L., T. J. Velázquez-Alcaraz, T. Díaz-Valdés, B. Acosta-Villegas, J. F. Inzunza-Castro. 2007. Nitrógeno, disminución de panza blanca del grano y aumento del rendimiento del trigo (*Triticum aestivum* L.). Rev. Elect. Granma Ciencia 11: 1-9.
- Piekielek, W. P. and R. H. Fox. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. Agron. Jour. 84: 59-65.
- Ruter, J. M. 1994. Growth and landscape establishment of *Pyracantha* and *Juniperus* after application of paclobutrazol. HortScience 29: 1318-1320.
- Sharma, G. C., A. D. Paul., J. A. Bietz. 1983. Nitrogen fertilization effects and anatomical, protein and amino acid characteristics of yellow berry in triticale. Crop Sci. 23: 699-703.
- Schepers, J. S., D. D. Francis, M. Vigil and F. E. Below. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. Soil Sci. Plant Anal. 23: 2173-2187.
- Solis-Moya E., J. G. Díaz de León-Tobías. 2001. Efecto de los factores controlables de la producción sobre el rendimiento y la panza blanca del grano en trigo duro. Terra Latinoamericana 19: 375-383.
- Velázquez-Alcaraz, T. J., L. Partida-Ruvalcaba, B. Acosta-Villegas, F. Ayala-Tafoya. 2008. Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. Univ. y Cienc. 24: 21-28.

Watson, G. W. 1996. Tree root system enhancement with paclobutrazol. *Journal Arboriculture* 22: 211-217.

Zadock, J. C., T. T. Chang, C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weeds Res.* 14: 415-421.

V. DISCUSIÓN GENERAL

El PBZ es una sustancia que induce al mango manila a que incremente la floración de 90 a 98%, que adelante la floración de 15 a 37 días, que mejore el peso y tamaño individual de frutos, y que incremente el rendimiento en más del 100%, en comparación con las plantas testigo (Pérez *et al.*, 2011), lo que a su vez tiene relación con los resultados de esta investigación, ya que con dosis de 150 ó 200 mg de PBZ L⁻¹ de agua, el trigo incrementó la cantidad de clorofila, peso seco de raíces, espigas por metro lineal, granos por espiga, peso de granos, contenido de proteína y rendimiento de grano por hectárea.

En maíz, la concentración de clorofila es una variable que responde a la cantidad de N disponible en el suelo y a la densidad de población, según resultados reportados por Mendoza *et al.* (2006), lo que también tiene relación con los resultados de esta investigación, toda vez que las variedades de trigo fueron cultivadas con N y paclobutrazol, de los cuales el primero permitió que los cultivares sintetizaran moléculas de clorofila, y que la concentración de ésta respondiera con incrementos a las dosis de paclobutrazol que se aplicaron.

En papa, el PBZ fue efectivo para disminuir el crecimiento en altura, la biomasa de tubérculos y la biomasa de la planta completa, cuando se aplicó en dosis de 100, 200 ó 250 mg.L⁻¹ de agua, y aunque con 150 mg.L⁻¹ de agua también redujo la altura de plantas, éste no afectó la biomasa de tubérculos (Flores *et al.*, 2011). Lo anterior coincide con los resultados de esta investigación, ya que en trigo también redujo la altura de plantas, pero incrementó caracteres como el número y peso de granos y, en consecuencia, el rendimiento de grano por hectárea.

En girasol, el PBZ, aplicado foliarmente a los 20 y 35 días después de la siembra, ocasionó que las plantas incrementaran características como la altura de plantas, diámetro del tallo, longitud del peciolo, área foliar, diámetro del capítulo, peso de aquenios y rendimiento de grano por hectárea (Silva *et al.*, 2011), lo que también coincide, en la mayoría de las variables de estudio, con los resultados que aquí se presentan, ya que en trigo también se incrementaron caracteres componentes del rendimiento.

En plantas de iris (*iris x hollandica* Tub.) obtenidas a partir de bulbos sumergidos durante 24 h en solución con PBZ en dosis de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 ó 80 mg L⁻¹, el PBZ provocó reducción de la altura al estado de pimpollo con color al momento de la venta, de tal manera que con la dosis de 20 mg L⁻¹ de agua la altura se redujo de 41 a 44% en relación al testigo, y la tasa de floración no fue afectada por el PBZ (Francescangeli, 2009). Lo anterior coincide con los resultados de la presente tesis, en cuanto al efecto que el PBZ ocasiona en la altura de plantas, ya que en los cultivares de trigo la intensidad del verdor fue mayor y la altura se vio disminuida levemente.

El hombre ha desarrollado tecnologías, como las que se conocen con el nombre de reguladores del crecimiento, para regular el crecimiento de las plantas, cuando así lo desea, dentro de ellos está el paclobutrazol (PBZ), mismo que en varias especies vegetales hace que el crecimiento en altura disminuya o incremente en la parte aérea o radicular, lo cual depende de las dosis y etapas fenológicas en que se aplique Partida *et al.*, 2007; Velázquez *et al.*, 2008), esto fue lo que se observó en los cultivares de trigo evaluados en esta investigación, disminución de la altura de plantas e incremento en el rendimiento de grano y en los caracteres componentes del mismo.

Constantemente el hombre está buscando más tecnologías que hagan que la producción de alimentos aumente, conservando los recursos naturales (suelo, agua, aire, etc.), protegiendo el medio ambiente, y cuidando la viabilidad económica y la equidad social (Jiménez y Lamo, 1998), de tal manera que el PBZ, las dosis adecuadas de éste y la determinación de las etapas fenológicas para aplicarlo, son tecnologías que en trigo complementan el paquete tecnológico para los agricultores de trigo, para producir más alimento con mayor contenido de proteína, menos panza blanca y mejor calidad del grano.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

En todos los casos, el PBZ indujo cambios en el contenido de clorofila de las hojas, lo que no sólo fue expresado poco tiempo después de la aplicación del mismo, sino que la respuesta permaneció por mucho tiempo, de tal manera que en un experimento la mayor intensidad del verdor, en comparación con el testigo, se observó en, por lo menos, durante tres etapas fenológicas del trigo.

El PBZ fue el agente causal de que los caracteres evaluados se incrementaran o disminuyeran, toda vez que en cada experimento todas las parcelas fueron fertilizadas con la misma dosis de $N\ ha^{-1}$, y se les dio el mismo manejo agronómico.

La altura de las plantas fue una de las características que disminuyó ligeramente cuando los cultivares recibieron las dosis de PBZ, por lo que dicha disminución no ocasionó problemas para la cosecha mecanizada en campo.

La panza blanca del grano fue otro de los caracteres que disminuyó, como consecuencia de la acción del PBZ, que ocasionó que las plantas tuvieron más raíces y, en consecuencia, exploraran más suelo, absorbieran y dispusieran de mayor cantidad del nitrógeno necesario para la síntesis de proteínas, cuya concentración se incrementó y contrarrestó la concentración de almidón en el endospermo del grano y disminuyó la panza blanca del mismo.

Todos los caracteres componentes del rendimiento de grano que se evaluaron, tuvieron respuesta con incremento en su expresión, lo que ocasionó que el rendimiento de grano ha^{-1} también se incrementara.

El PBZ es una sustancia que se puede utilizar, preferentemente, en dosis de 150 a 200 $mg\ L^{-1}$ de agua, para mejorar caracteres que directa o indirectamente influyen en características que tienen que ver con el rendimiento de grano y en la calidad del mismo.

Lo anterior permite deducir que la aplicación del PBZ durante la etapa fenológica de amacollamiento o formación de hijuelos, así como la dosis adecuada del mismo, es una tecnología generada con esta investigación, que puede ser utilizada en trigo para disminuir panza blanca del grano e incrementar proteína y rendimiento del mismo por unidad de superficie.

El paclobutrazol es una sustancia que, según sea la etapa en que se aplique, puede conllevar a la regulación del crecimiento de las plantas, como retardar el crecimiento en altura de plántulas, pero ocasiona incrementos en otras características que hacen a las plantas más eficientes en los procesos que tienen relación con la producción de alimentos.

VII. LITERATURA CITADA EN INTRODUCCIÓN Y DISCUSIÓN GENERAL

- Flores, L. R., Sánchez del C. F., Rodríguez P. J. E., Mora A. R., Colinas L. M. L. y Lozoya S. H. (2011) Rev. Paclobutrazol, uniconazol y cycocel en la producción de tubérculo-semilla de papa en cultivo hidropónico. Chapingo Serie Horticultura 17(2): 173-182.
- Francescangeli, N. (2009) Paclobutrazol and cytokinin to produce iris (iris x hollandica Tub.) in pots. Chilean Journal of Agricultural Research 69(4): 509-515.
- Jiménez, D. R. M. y Lamo E. J. (1998) Agricultura Sostenible. Mundi-Prensa, España. 616 p.
- Mendoza, E. M., Mosqueda V. C., Rangel L. J. A., López B. A., Rodríguez H. S. A., Latournerie M. L. y Moreno M. E. (2006) Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. Agricultura Técnica en México 32(1): 89-99.
- Partida RL, Velázquez ATJ, Acosta VB, Ayala TF, Díaz VT, Inzunza CJF, Cruz OJE (2007) Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. Revista Fitotecnia Mexicana, 30(2): 145-149.
- Pérez, B. M. H., Osuna G. J. A., Sánchez L. R. y Vázquez V. V. (2011) El paclobutrazol como promotor de la floración en mango 'manila', aún sin condiciones ambientales inductivas. Rev. Chapingo Serie Horticultura 17(Esp. 1): 47-52.
- Silva, G. M., Gámez G. H., Zavala G. F., Cuevas H. B. y Rojas G. M. (2001) Efecto de cuatro fitoreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. Rev. Ciencia UANL 4(1): 69-75.
- Velázquez ATJ, Partida RL, Acosta VB, Ayala TF (2008) Producción de plantas de tomate y chile aplicando paclobutrazol al follaje. Universidad y Ciencia, 24(1): 21-28.