

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS



**BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO EN
CARBOHIDRATOS Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN
NOGAL PECANERO**

TESIS

QUE PRESENTA

LAURA RAQUEL OROZCO MELÉNDEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DOCTOR EN CIENCIAS HOTOFRUTÍCOLAS**

CHIHUAHUA, CHIH., MAYO DE 2021

TÍTULO DE LA TESIS:

**BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO EN
CARBOHIDRATOS Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN
NOGAL PECANERO**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

SISTEMAS DE PRODUCTIVIDAD HORTOFRUTÍCOLA

DISCIPLINA

FISIOLOGÍA DE FRUTALES



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

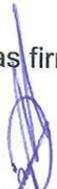
FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, certifican que han leído y recomiendan a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas la aceptación de la tesis de Doctorado titulada: **BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO EN CARBOHIDRATOS Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN NOGAL PECANERO**

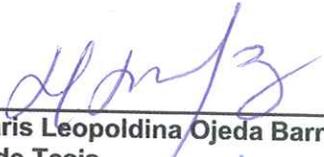
Realizada por: **LAURA RAQUEL OROZCO MELÉNDEZ**

Como cumplimiento parcial de los requerimientos para obtener el grado de **DOCTOR EN CIENCIAS**

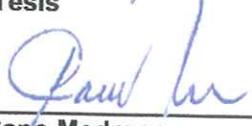
Ratifican que las firmas son verdaderas:



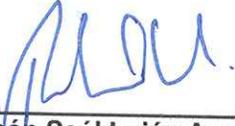
Dr. Damian Aaron Porras Flores
Director
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



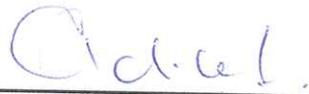
Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
Directora de Tesis



Dra. Raquel Cano Medrano
Co-Directora



M.C Ramón Saúl Luján Aguirre
Secretario de Investigación y Posgrado
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



D.Ph. Ofelia Adriana Hernández
Rodríguez
Asesor



Dr. Rafael Ángel Parra Quezada
Asesor

25 de Mayo de 2021

Fecha



Ph.D. Jorge Alfonso Jiménez Castro
Asesor



Dr. Esteban Sánchez Chávez
Asesor Externo

Cd. Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Those who subscribe, certify that they have read and recommend to the Department of Agrotechnological Sciences the acceptance of the thesis entitled: **GROWTH BIOREGULATORS AND THEIR EFFECT ON CARBOHYDRATES AND YIELD COMPONENTS IN PECAN**

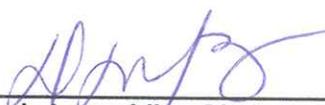
Submitted by: **LAURA RAQUEL OROZCO MELÉNDEZ**

In partial fulfilment of the requirements for the degree of **DOCTOR OF SCIENCE**

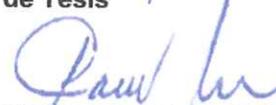
Ratify that signatures are real:



Dr. Damian Aaron Porras Flores
Director
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



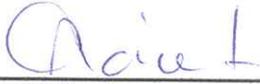
Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
Directora de Tesis



Dra. Raquel Cano Medrano
Co-Directora



M.C Ramón Saúl Luján Aguirre
Secretario de Investigación y Posgrado
Facultad de Ciencias Agrotecnológicas



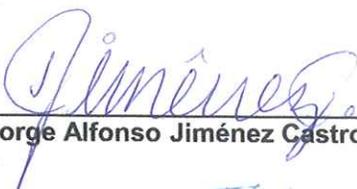
D.Ph. Ofelia Adriana Hernández
Rodríguez
Asesor



Dr. Rafael Angel Parra Quezada
Asesor

25 de Mayo de 2021

Date



Ph.D. Jorge Alfonso Jiménez Castro
Asesor



Dr. Esteban Sánchez Chávez
Asesor Externo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROTECNOLÓGICAS

Los que suscriben, miembros del **Cuerpo Académico UACH-CA-17 HORTOFRUTICULTURA**, han fungido como parte integral en la asesoría de **LAURA RAQUEL OROZCO MELÉNDEZ** durante el desarrollo y conclusión del trabajo de Investigación: **BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO EN CARBOHIDRATOS Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN NOGAL PECANERO**

Dra. Dámaris Leopoldina Ojeda Barrios
Responsable

D.Ph. Ofelia Adriana Hernández
Rodríguez
Integrante

Dr. Rafael Ángel Parra Quezada
Colaborador

25 de Mayo de 2021

Fecha

Cd. Universitaria, s/n Campus 1
Chihuahua, Chih., México C. P. 31310
Tel. y Fax (614) 4391844 y 4391845
www.faciatec.uach.mx

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer a la Universidad Autónoma de Chihuahua y sobre todo a la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas por permitirme ser parte de este posgrado y ser parte de mi formación profesional. Así mismo agradecerle al director Dr. Damian A. Porras Flores y al secretario de posgrado M.C. Ramón Saúl Luján Aguirre por su apoyo y el material proporcionado para la realización de este trabajo de investigación.

Al comité asesor y mis maestros de cátedra, personas de gran sabiduría quienes fueron mis formadores y me encaminaron para llegar al punto en el que me encuentro, por transmitirme sus conocimientos, apoyo y ayuda para lograr los objetivos para culminar el desarrollo de este trabajo. De manera individual quiero agradecer a la Dra. Dámaris L. Ojeda Barrios por haberme aceptado como estudiante de posgrado, de igual manera por su firme y constante apoyo durante todo este tiempo. Adicionalmente al Dr. Jorge A. Jiménez Castro, por su tiempo y ayuda en la realización de los análisis estadísticos, igualmente al Dr. Oscar Cruz Álvarez para la escritura de este trabajo.

A mis compañeros Marisela Calderón y Jaime Bautista que estuvieron brindándome su ayuda en diversas actividades, pruebas de campo y de laboratorio, gracias por su apoyo incondicional.

A mi familia por su infinita fe en mí.

Finalmente, a Dios por proporcionar luz en momentos de oscuridad durante este viaje y bendecir mi camino a diario.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con todo mi amor y cariño a:

A mis hermanos, familia y amigos que compartieron conmigo este camino.

A mis padres por todo su apoyo, amor incondicional y siempre estar presentes en cualquier momento en vida. Son los forjadores de lo que soy ahora como persona, sin ustedes, sus consejos, su amor y cariño no habría llegado hasta donde estoy.

A mi esposo por su sacrificio y esfuerzo, por apoyarme para beneficio de nuestro futuro, por creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre ha estado brindándome su comprensión y cariño.

A mis amados hijos Isabella y Caleb por ser mi motivación e inspiración para poder superarme cada día.

ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO I: PACLOBUTRAZOL Y SU USO EN LA PRODUCCIÓN DE FRUTALES: UNA REVISIÓN	4
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	6
DESARROLLO DEL TEMA	7
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	17
LITERATURA CITADA	18
CAPITULO II: APLICACIÓN DE ALGUNOS BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO EN NOGAL	25
RESUMEN	25
ABSTRACT	26
INTRODUCCIÓN	27
MATERIALES Y MÉTODOS	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
CONCLUSIONES	37
LITERATURA CITADA	37
CAPITULO III: ¿LA APLICACIÓN DE BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO MEJORA LA CONCENTRACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES, CARBOHIDRATOS NO ESTRUCTURALES Y RENDIMIENTO DEL NOGAL?	42
RESUMEN	42
ABSTRACT	43
INTRODUCCIÓN	44
MATERIALES Y MÉTODOS	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
CONCLUSIONES	59
LITERATURA CITADA	59
CONCLUSIONES GENERALES	64
LITERATURA CITADA	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro número	Título	Página
1	Clasificación y modo de acción de los bioreguladores de crecimiento	9
2	Dosis y efectos de PBZ aplicado al suelo en diversos frutales	15
3	Composición mineral en folíolos del cultivar de nogal Western Schley seleccionado para este experimento	29
4	Frutos amarrados antes de cosecha, rendimiento, índice de alternancia y calidad de la nuez Western Schley con aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento	33
5	Concentración de macronutrientes en folíolos de nogal Western Schley con aplicación de bioreguladores de crecimiento	50
6	Concentración de micronutrientes en folíolos de nogal Western Schley con aplicación de bioreguladores de crecimiento	51
7	Concentración de carbohidratos no estructurales en folíolos de nogal pecanero Western Schley tratados con bioreguladores de crecimiento	54
8	Aplicación de bioreguladores de crecimiento en nogal pecanero Western Schley y su efecto interanual sobre el rendimiento y la calidad de la nuez	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura número	Título	Página
1	Ruta simplificada de los terpenos involucrados en la biosíntesis de giberelinas, puntos de inhibición para la formación de ácido abscísico y clorofila	11
2	Etapas fenológicas de flor femenina de nuez pecanera variedad Western Schley	30
3	Concentración de N-total (A), P (B), K ⁺ (C), Ca ²⁺ (D) y Mg ²⁺ (E) en nogales de Western Schley con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento	50
4	Concentración de Fe ²⁺ (A), Cu ²⁺ (B), Mn ²⁺ (C) y Zn ²⁺ (D) en nogales de Western Schley con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento	52
5	Concentración de fructosa (A), glucosa (B), sacarosa (C) y almidón (D) en árboles de nogal pecanero Western Schley con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento	55
6	Rendimiento (A), peso de nuez (B) y porcentaje de almendra (C) en árboles de nogal pecanero Western Schley con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento	58

RESUMEN

La nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.] es una especie caducifolia con un alto impacto económico y valor nutricional que presenta alternancia. La mitigación de la alternancia a través de la iniciación de flores pistiladas es muy importante para mejorar el rendimiento y la calidad de la nuez. Existen estudios en diversos frutales en los cuales las aplicaciones de bioreguladores de crecimiento como el ácido giberélico, thidiazuron, prohexadiona calcio y paclobutrazol, mejoran el rendimiento y minimizan la alternancia. En este estudio, se recopiló, analizó y resumió información relevante del uso del paclobutrazol en la producción de frutales y sus posibles riesgos para el medio ambiente, así mismo, se evaluó la concentración de nutrientes foliares, carbohidratos no estructurales, rendimiento y calidad de la nuez en nogal pecanero variedad 'Western Schley' en un huerto ubicado en Chihuahua, México en los ciclos agrícolas 2017 y 2018. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de paclobutrazol puede ser efectiva para resolver algunos problemas relacionados con la floración, sin embargo, algunos estudios han demostrado su efecto residual en el medio ambiente. Los bioreguladores de crecimiento minimizaron la alternancia, afectaron el rendimiento, sin embargo, el peso de la nuez por kilogramo y porcentaje de almendra se mantuvo similar, así como la concentración foliar de carbohidratos no estructurales, N-total. El P solo mostró un efecto positivo con un bioregulador (prohexadiona de calcio) y la concentración foliar de Zn^{2+} mostró variación entre años, sin efecto debido a la aplicación de bioreguladores. El uso de los bioreguladores de crecimiento evaluados podría ser una estrategia de manejo agronómico para minimizar la alternancia en los árboles de nuez 'Western Schley'.

ABSTRACT

The pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.] is a deciduous species with a high economic impact and nutritional value that presents alternate bearing. The mitigation of alternate bearing through the initiation of pistillate flowers is very important to improve the yield and quality of the nut. There are studies in various fruit trees in which the applications of growth bioregulators such as gibberellic acid, thidiazuron, calcium prohexadione and paclobutrazol, improve yield and minimize alternate bearing. In this study, relevant information on the use of paclobutrazol in fruit production and its possible risks for the environment was collected, analyzed and summarized, as well as the concentration of foliar nutrients, non-structural carbohydrates, yield and quality of the nut in pecan 'Western Schley' in an orchard located in Chihuahua, Mexico in the agricultural cycles 2017 and 2018. The results obtained indicate that the application of paclobutrazol can be effective to solve some problems related to flowering, however, some studies have shown its residual effect in the environment. The growth bioregulators minimized the alternate bearing, affected the yield, however, the weight of the nut per kilogram and kernel percentage remained similar, as well as the foliar concentration of non-structural carbohydrates, N-total. P only showed a positive effect with a bioregulator (calcium prohexadione) and the foliar concentration of Zn^{2+} showed variation between years, with no effect due to the application of bioregulators. The use of the evaluated growth bioregulators could be an agronomic management strategy to minimize alternation in 'Western Schley' pecan trees.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La nuez [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] es un cultivo de gran rentabilidad y valor nutricional (Ojeda-Barrios *et al.*, 2016; Wood, 2011). Los árboles de nuez tardan diez años en convertirse en árboles maduros capaces de producir nueces y presentan un fenómeno conocido como alternancia, una variación en la producción anual de nueces que afecta el rendimiento y la calidad de la nuez cosechada (Randall *et al.*, 2015; Smith, 2012). Además, representa una reducción significativa en los ingresos de productores y comercializadores (Castillo-González *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2016). Sin embargo, la alternancia es un proceso fisiológico natural de supervivencia que presentan los árboles para regular sus reservas y mantener la producción de frutos (Wood, 2014).

La alternancia es un proceso multifactorial asociado con la reserva de carbohidratos y la floración, que a su vez está regulada por factores fisiológicos, bioquímicos, ambientales y genéticos (Sharma *et al.*, 2019). El proceso de producción, inhibe la floración y fructificación del siguiente ciclo porque consume mucha energía, en años de baja producción hay un mayor desarrollo de estructuras vegetativas, que ayudan a acumular más reservas y produce mayor floración y alto rendimiento en el próximo ciclo (Rebolledo y Romero, 2011; Sharma *et al.*, 2019; Wood, 2011). Los carbohidratos de reserva en el árbol son importantes en la inducción de flores y es el primer requisito a considerar en el manejo agronómico para minimizar la alternancia (Wood, 2014). Los carbohidratos se clasifican en estructurales (lignina y celulosa) y no estructurales (glucosa, fructosa, sacarosa y almidón), que forman los tejidos, proporcionan energía química para las reacciones metabólicas y como reservas a largo plazo (Pérez-Barraza *et al.*, 2017).

El aporte óptimo de nutrientes incide en la síntesis, acumulación de carbohidratos, también mejora el rendimiento y la calidad del fruto seco (Baladrán-Valladares *et al.*, 2021). Los programas de fertilización en nogal suelen considerar al nitrógeno (N) y zinc (Zn^{2+}) como los dos nutrientes más importantes en la producción comercial de este fruto caducifolio (Castillo-González *et al.*, 2019). En particular, el N está directamente asociado con la conformación del dosel de los árboles (Smith *et al.*, 2012). Por otro lado, el Zn^{2+} está involucrado en el alargamiento de brotes,

síntesis de clorofila y juega un papel destacado en el metabolismo del árbol de nogal, ya que forma parte de las enzimas oxidorreductasa, liasa, isomerasa, transferasa, hidrolasas y ligasas (Castillo-González *et al.*, 2018; Ojeda-Barrios *et al.*, 2009; Smith & Cheary, 2013).

Los bioreguladores de crecimiento pueden ser sustancias naturales o sintéticas que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta (Martínez-Damián *et al.*, 2019). Entre estas, se pueden identificar hormonas (auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico), que se clasifican según similitudes estructurales y sus efectos en la fisiología de las plantas (Pai y Desai, 2018; Smith, 2012). La aplicación exógena de bioreguladores de crecimiento en bajas concentraciones promueve, inhibe o modifica el comportamiento morfológico y fisiológico de las plantas (Tejagal *et al.*, 2020). Es común clasificarlos según los procesos fisiológicos a los que se asocian y su respuesta cuando se aplican (Martínez-Damián *et al.*, 2019; Rademacher, 2016).

Entre las estrategias de manejo agronómico para minimizar la alternancia con la aplicación de bioreguladores El paclobutrazol (PBZ) es un inhibidor de crecimiento, mejora la producción, no obstante, se tiene evidencia sobre sus efectos residuales, lo que puede afectar la salud de los consumidores y contaminación ambiental, por lo que se restringe su uso (Wang *et al.*, 2019; Zou *et al.*, 2018). La aplicación de ácido giberélico (GA3) promueve el crecimiento de los brotes e influye en la inducción de flores y el cuajado (Pérez-Barraza *et al.*, 2017; Wood, 2011). La prohexadiona de calcio (PCa) este, reduce el crecimiento y mejora la producción (Rehman *et al.*, 2018). El thidiazuron (TDZ) y su aplicación está asociada con la división celular (Pasa *et al.*, 2017). Este bioregulador juega un papel importante en la inducción de flores y además aumenta el tamaño y número de frutos (Pérez-Barraza *et al.*, 2017). Existe poca información asociada con el manejo agronómico de alternancia en el nogal a través de la aplicación de productos químicos que se han encontrado beneficiosos en otros árboles frutales.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación foliar de algunos bioreguladores de crecimiento (Ácido giberélico, Prohexadiona de Calcio, Thidiazuron y Paclobutrazol) en el nogal pecanero 'Western Schley'.

Objetivos específicos

- Recopilar, analizar y resumir información del uso del paclobutrazol en la producción de algunos frutales de importancia económica y sus posibles riesgos en el medio ambiente.
- Evaluar el efecto de la aplicación de algunos bioreguladores de crecimiento sobre el número de frutos amarrados antes de cosecha, rendimiento y la calidad de la nuez en la nuez.
- Evaluar la concentración de nutrientes foliares, carbohidratos no estructurales y rendimiento del nogal pecanero 'Western Schley' como respuesta a la aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento.

CAPÍTULO I: PACLOBUTRAZOL Y SU USO EN LA PRODUCCIÓN DE FRUTALES: UNA REVISIÓN

RESUMEN

Existen registros documentales en donde refieren al paclobutrazol (PBZ) como un bioregulador de crecimiento que inhibe la síntesis de giberelinas y su aplicación incrementa el rendimiento en la producción de cultivos hortofrutícolas. Su manejo agronómico lo incluye como una tecnología emergente al reducir el vigor, promover la inducción y desarrollo floral en árboles frutales con un incremento en la derrama económica. Su uso se encuentra prohibido en algunos países, en virtud de que existe preocupación sobre los residuos que pueden provocar efectos perjudiciales al medio ambiente. Es por ello, que el objetivo de este artículo fue recopilar, analizar y resumir información relevante del uso del PBZ en la producción de frutales y sus posibles riesgos para el medio ambiente. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de PBZ puede ser efectivo para resolver algunos problemas relacionados con la floración si se aplica en cantidad y momento adecuado, sin embargo, se requiere dilucidar los procesos fisiológicos con los que se asocia y su respuesta al ser adicionado para incrementar rendimiento. Actualmente se utiliza el PBZ en frutales tales como mango, lima, manzano y guayabo incrementando su productividad. Sin embargo, algunos estudios han demostrado su efecto residual en el medio ambiente. Por lo cual, el PBZ es una estrategia viable, debido a que presenta una serie de ventajas en la producción de frutales, no obstante, es vital generar protocolos que busquen su regulación con un enfoque racional y sustentable.

PALABRAS CLAVE: bioregulador del crecimiento, biosíntesis de giberelinas, crecimiento vegetativo, inducción floral, medio ambiente

ABSTRACT

There are documentary records where they refer to paclobutrazol (PBZ) as a growth bioregulator that inhibits the synthesis of gibberellins and its application increases the yield in the production of horticultural crops. Its agronomic management includes it as an emerging technology by reducing vigor, promoting induction and floral development in fruit trees with an increase in economic spillover. Its use is prohibited in some countries, due to concerns about residues that can cause harmful effects on the environment. That is why the objective of this article was to collect, analyze and summarize relevant information on the use of PBZ in fruit production and its possible risks to the environment. The results obtained indicate that the application of PBZ can be effective to solve some problems related to flowering if it is applied in the right amount and time, however, it is necessary to elucidate the physiological processes with which it is associated and its response when added to increase performance. Currently, PBZ is used in fruit trees such as mango, lime, apple and guava, increasing their productivity. However, some studies have shown its residual effect in the environment. Therefore, the PBZ is a viable strategy, because it has a series of advantages in the production of fruit trees, however, it is vital to generate protocols that seek its regulation with a rational and sustainable approach.

KEY WORDS: environment; flower induction; gibberellin biosynthesis; growth bioregulator; vegetative growth

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la agricultura es una de las actividades económicas más relevantes, dada su contribución a la producción de alimentos (Altieri *et al.*, 2012). El incremento de población incide de manera directa en la necesidad de aumentar los rendimientos de los cultivos, además, los consumidores esperan productos de alta calidad, nutritivos, limpios, sanos y seguros (Díaz *et al.*, 2016). La integración de tecnologías emergentes en los diferentes sistemas de producción debe ser en un entorno de inocuidad y sustentabilidad (Altieri *et al.*, 2012). Es por ello que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) acuñó el concepto de seguridad alimentaria como el “acceso físico y económico a

suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (Urquía-Fernández, 2014).

La aplicación de nutrientes y bioreguladores de crecimiento incrementan la productividad de los cultivos (Diaz *et al.*, 2016), estos últimos se pueden clasificar de acuerdo con los procesos fisiológicos con los que se asocian y su respuesta al ser aplicados (Martínez-Damián *et al.*, 2019). Reportes previos señalan que bajas concentraciones de estos compuestos, facilitan el manejo agronómico y su efecto puede vincularse con la inhibición, ralentización e inducción de la brotación, floración y maduración de frutos (Rademacher, 2016). Entre estos bioreguladores de crecimiento se encuentra el paclobutrazol (PBZ) (inhibidor de crecimiento) (Mohan *et al.*, 2019; Rademacher, 2015; Zhang *et al.*, 2019), reduce el vigor, promueve la inducción y desarrollo floral (Mog *et al.*, 2019; Wongsrisakulkaew *et al.*, 2017).

En la última década, entre las prácticas habituales de manejo agronómico para la producción de frutales se encuentra el uso de PBZ, el cual promueve diversos efectos, como, por ejemplo: en la India se utiliza para aumentar la calidad del fruto en litchi (*Litchi chinensis* Sonn) 'China' al inhibir el crecimiento vegetativo (Singh *et al.*, 2019), pera 'Clapp's' (*Pyrus pyrifolia* L.) (Lal *et al.*, 2018) y nuez de la india 'Ullal-3' (*Anacardium occidentale* L.) (Mog *et al.*, 2019). En China se utiliza para disminuir el crecimiento vegetativo en el cultivo del nogal 'Western Schley' y 'Mahan' [*Carya illinoensis* (Wang.) K. Koch] (Luo *et al.*, 2016; Zhu y Stafne, 2019). En Brasil se utiliza para incrementar el tamaño y forma del fruto del aguacate 'Hass' (*Persea americana* L.) (Do Amaral Brogio *et al.*, 2018).

En México se utiliza para promover floración e incrementar la producción, en guayaba (*Psidium guajaba* L.) 'Calvillo', 'Hidrosac' y 'Caxcana' (Padilla-Ramírez *et al.*, 2018) y en mango (*Mangifera indica* L.) 'Tommy Atkins' (Osuna-García *et al.*, 2001) 'Ataulfo' y 'Manila' (Pérez-Barraza *et al.*, 2011; Pérez-Barraza *et al.*, 2018).

El uso de PBZ contribuye a incrementar el valor de la producción (rendimiento y calidad del fruto), no obstante, se tiene evidencia sobre sus efectos residuales y su

efecto negativo en la salud de los consumidores (Zou *et al.*, 2016). Además, se cuenta con información de que puede causar contaminación ambiental (mantos freáticos y suelo) (Wang *et al.*, 2019). El objetivo de este artículo fue recopilar, analizar y resumir información del uso del PBZ en la producción de algunos frutales de importancia económica y sus posibles riesgos en el medio ambiente.

Bioreguladores de crecimiento

Entre los costos de producción asociados con la aplicación de productos para mejorar e incrementar el rendimiento y calidad de los frutos cosechados, la aplicación de bioreguladores de crecimiento constituyen una porción mínima (Rademacher, 2016). Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado su aplicación debido a que coadyuvan a mejorar la productividad de los frutales.

Las plantas sintetizan diversos compuestos, entre estos, bioreguladores de crecimiento, los cuales promueven y regulan sus procesos fisiológicos (crecimiento vegetativo, inducción floral, amarre e incremento del tamaño de fruto) (Mirzajani *et al.*, 2017; Rademacher, 2015; Soumya *et al.*, 2017). Además, inciden en la respuesta frente al estrés biótico y abiótico (Chávez-Suárez *et al.*, 2012). Entre los bioreguladores tradicionales se encuentran: auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno (Pai y Desai, 2018). Existen investigaciones que también consideran como bioreguladores a los brasinoesteroides, ácido salicílico, triazoles, jasmonatos, poliaminas y recientemente a las estrigolactonas (Chávez-Suárez *et al.*, 2012; Fahad *et al.*, 2015; Luna-Esquivel *et al.*, 2014).

Los bioreguladores de crecimiento se pueden clasificar de acuerdo con su modo de acción (Cuadro 1). Se reporta que pueden mejorar los mecanismos de defensa en la planta, promueven la división y crecimiento celular, procesos que coadyuvan a incrementar la producción y calidad de los frutos (Luo *et al.*, 2019). También pueden retardar o inhibir el crecimiento (Zhang *et al.*, 2019). Así como juegan un papel importante en las respuestas al estrés y la adaptación como el déficit hídrico, altas temperaturas, salinidad e inundación (Soumya *et al.*, 2017).

Cuadro 1. Clasificación y modo de acción de los bioreguladores de crecimiento.

Clasificación	Ejemplos	Modo de acción	Referencias
Auxina	Ácido Indolacético, Ácido indolbutírico y Ácido naftalenacético	Controla la división expansión celular (al formar celulosa), dominancia apical, tropismos, alargamiento del tallo, formación y desarrollo de raíces.	Fahad <i>et al.</i> , 2015
Giberelinas	AG	Controlan el desarrollo del fruto (promueve la división celular y la expansión celular), germinación de semillas, alargamiento del tallo, la floración y senescencia de hojas.	Mesejo <i>et al.</i> , 2016; Tesfahun, 2018;
Citoquininas	Zeatina y Tiaziduron	Promueven la división celular, brote y desarrollo de raíces, desarrollo de semillas y frutos, germinación, senescencia y respuesta a tensiones ambientales.	Nisler, 2018.
Ácido abscísico	Ácido abscísico	Induce maduración del embrión, dormancia de la semilla, crecimiento vegetativo y procesos relacionados con la tolerancia a estrés (cierre de estomas), maduración y la abscisión del fruto.	Chávez-Suárez <i>et al.</i> , 2012.
Etileno	Etileno	Disminuye crecimiento del tallo y las raíces. Ayuda en el desarrollo de flores, maduración de frutos. Además de la senescencia de hojas, flores y abscisión del fruto.	Fahad <i>et al.</i> , 2015.
Silicatos	Ácido salicílico	Induce floración, inhibición de la biosíntesis del etileno e incremento del crecimiento. Permite la regulación y respuesta al estrés.	Chávez-Suárez <i>et al.</i> , 2012; Fahad <i>et al.</i> , 2015.
Jasmonatos	Ácido jasmónico, y Ácido isoajasmónico	Ayuda a la señalización en las plantas para responder al biótico y abiótico. Promueve germinación de la semilla, crecimiento de raíz y floración.	Chávez-Suárez <i>et al.</i> , 2012; Fahad <i>et al.</i> , 2015.
Brasinoesteroides	Brasinólida, Dolicolida y Epibrasinólida	Influyen en la germinación, rizogénesis, floración, senescencia, abscisión y en los procesos de maduración. También confieren resistencia a las plantas contra estrés abiótico y biótico.	Fahad <i>et al.</i> , 2015; Hernández-Silva y García-Martínez, 2016.
Poliaminas	Putrescina, Espermidina y Espermina	Están involucradas con la división y alargamiento celular, empaquetamiento de ácidos nucleicos, replicación de ADN y enraizamiento.	Luna-Esquivel <i>et al.</i> , 2014.
Estrigolactonas	Strigol, Acetato de strigyl y Sorgolactona	Inhiben el transporte de auxina, promueven el crecimiento de brotes y raíces y defensa de las plantas.	Waters <i>et al.</i> , 2017.
Triazoles	Paclobutrazol	Reducen el crecimiento de la planta, promueven el desarrollo de flores, promueven mayor número de hojas, raíces y mejora tolerancia al estrés ambiental o por enfermedades. Incrementan la concentración de clorofila y de enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa, catalasa, ascorbato, peroxidasa.	Fahad <i>et al.</i> , 2015; Soumya, <i>et al.</i> , 2017.

Estudios recientes reportan que los bioreguladores de crecimiento al ser aplicados en pequeñas concentraciones, son absorbidos con facilidad y movilizados a través del xilema, con el propósito de modificar el comportamiento fisiológico de la planta, (Martínez–Damián *et al.*, 2019). Existen productos comerciales que son utilizados como parte del manejo agronómico del crecimiento y desarrollo de las plantas, análogos sintéticos de los bioreguladores naturales, entre ellos el PBZ (Koprna *et al.*, 2016; Pai y Desai, 2018).

Paclobutrazol (PBZ)

El PBZ se dio a conocer por primera vez en 1986 como un nuevo bioregulador, el cual fue introducido al mercado por ICI Agrochemicals (ahora parte de Syngenta) (Rademacher, 2016). Es un compuesto sintético [(2R, 3R)-1-(4-clorofenilo)-4,4-dimetil-2-(1H-1,2,4-triazol-1-il)-pentan-3-ol] que inhibe el crecimiento vegetativo (Mohan *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019), pertenece al grupo de los triazoles (Mog *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2019). Entre sus propiedades químicas del PBZ se encuentran: peso molecular de 293.8, fórmula molecular $C_{15}H_{20}ClN_3O$, punto de fusión 165-166 °C, densidad de 1.22 g mL⁻¹ y solubilidad en agua de 35 mg L⁻¹. El PBZ es una molécula hidrofóbica y ligeramente polar, con partes hidrofílicas (Jiang *et al.*, 2019). Posee dos centros quirales (dos carbonos asimétricos), por lo tanto, la existencia de dos pares de enantiómeros [(2R, 3R)- y (2S, 3S)-] y [(2S, 3R)- y (2R, 3S)-]. Sin embargo, entre los estereoisómeros, 2S y 3S muestran mayor eficiencia en la inhibición en la biosíntesis de giberelinas, pero 2R y 3R se degradan con mayor facilidad (Wu *et al.*, 2015).

El PBZ se encuentra como ingrediente activo de diversos productos comerciales como: CULTAR® 25 SC y BONZI® (Syngenta, USA) (Rademacher, 2016) Regalis® Plus (BASF, USA) y AuStar® (Chemicals Direct Pty Ltd, Australia) (Padilla-Ramírez *et al.*, 2017). Es un compuesto de naturaleza no polar con amplio espectro que se transloca principalmente a través de xilema, sin embargo, dependerá de la vía de aplicación, dado que también se puede transportar por floema (Kishore *et al.*, 2015; Singh *et al.*, 2019).

El modo de acción del PBZ se enmarca como parte de la ruta de los terpenos, es decir, inhibe la biosíntesis de giberelinas al inactivar a la enzima ent-kaureno oxidasa, la cual cataliza su oxidación a ácido ent-kaurenoico. Esto favorece la activación de las enzimas geranylgeranilo reductasa y fitoeno sintasa para la biosíntesis de clorofila y ácido abscísico, respectivamente (Figura 1) (Hedden y Sponsel, 2015; Soumya *et al.*, 2017; Tesfahun, 2018). Como resultado disminuye el vigor y promueve la inducción y desarrollo floral (Do Amaral Brogio *et al.*, 2018; Mog *et al.*, 2019; Wongsrisakulkaew *et al.*, 2017).

Rutas principales para la biosíntesis e inhibición de giberelinas



Figura 1. Ruta simplificada de los terpenos involucrados en la biosíntesis de giberelinas, puntos de inhibición para la formación de ácido abscísico y clorofila (Adaptado de Hedden y Sponsel, 2015; Soumya *et al.*, 2017).

Uso del PBZ en frutales

Entre los principales efectos y procesos fisiológicos afectados que se han reportado con la aplicación de PBZ, se encuentra la síntesis de giberelinas, inducción floral, actividad fotosintética al promover mayor concentración de clorofila, reducción de la tasa de transpiración (cierre de estomas) y activación de enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa, catalasa, ascorbato peroxidasa y peroxidasa) relacionadas con la mitigación del estrés oxidativo (Kishore *et al.*, 2015; Soumya *et al.*, 2017). Su aplicación se realiza vía foliar y edáfica a concentraciones que oscilan entre 1-200 mg L⁻¹ y 0.1-8.0 mg L⁻¹, respectivamente (Grant *et al.*, 2018).

Se ha descrito el efecto del PBZ, por ejemplo, en pera 'Clapp's' (*Pyrus communis* L.) se aplicó vía foliar en concentraciones de 100, 200 y 300 mg L⁻¹ durante la etapa fenológica de caída de pétalos, lo que manifestó con 34% de incremento en el rendimiento (Lal *et al.*, 2018). En nuez de la India 'Ullal-3' (*Anacardium occidentale* L.) se aplicó al suelo por dos años en tres concentraciones 1, 2 y 3 g L⁻¹ de PBZ, previo a la apertura floral, con lo cual se observó un incremento en el número de flores femeninas y una mejora del 54 y 30% en la concentración de clorofilas a y b, respectivamente (Mog *et al.*, 2019).

En China las aplicaciones de PBZ al suelo se realizan en los meses de noviembre y diciembre para disminuir el crecimiento vegetativo de nogal 'Western Schley' [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] con concentraciones de 30, 90 y 150 mg cm² (Zhu y Stafne, 2019). Otro trabajo en olivo (*Olea europaea* L.) 'Arbosana' realizado en Túnez se aplicó PBZ vía foliar (10 ml L⁻¹) y edáfica (20 ml L⁻¹), donde se encontró una reducción significativa en la longitud de los brotes y el área foliar, pero la aplicación foliar fue más efectiva. Adicionalmente, se modificó el comportamiento de indicadores de rendimiento (número de inflorescencias y número de flores por inflorescencias) con respecto al testigo (Ajmi *et al.*, 2020).

Con el propósito de reducir el crecimiento vegetativo y promover floración, las aplicaciones de PBZ son realizadas en el mes de julio y en concentraciones de 7.5 y 10 g L⁻¹, respectivamente (Sarker *et al.*, 2016). En litchi (*Litchi chinensis* Sonn) 'China' se han realizado aplicaciones al suelo en septiembre de este producto (1, 2, 3 y 4 g L⁻¹), en la que se encontró un incremento en la tasa de transpiración y conductancia estomática. Así mismo la dosis de 4 g L⁻¹ mostró el mayor rendimiento, contenido de vitamina C y antocianinas en los frutos (Singh *et al.*, 2019).

Cruz *et al.* (2008) evaluaron el efecto del PBZ en lima (*Citrus latifolia* Tanaka) 'Tahiti' con la aplicación al suelo de 800 mg planta⁻¹, encontraron un incremento significativo en la floración y amarre del fruto. En el cultivo de mora (*Morus alba* L.) 'S-146' se aplicaron 5, 10, 25, 50, 100 y 500 mg L⁻¹ de PBZ, donde se observó un incremento en la acumulación de biomasa y el porcentaje de eficiencia fotoquímica,

mediante la inducción de antioxidantes enzimáticos (superóxido dismutasa y catalasa) (Mohan *et al.*, 2019).

Autores como Barman y Misare (2018), en una investigación en mango (*Mangifera indica* L.) 'Dashehari' aplicaron 3.2 mL m² de PBZ en el mes de septiembre, en la que reportan un incremento significativo en la floración y 30% más de rendimiento. En otro experimento, pero con la variedad 'Namdokmai-sitong', se realizó la aplicación 15 y 45 días después de poda con dosis de 500, 1000, 1500 y 2000 mg L⁻¹, con lo que se obtuvo una disminución del crecimiento vegetativo y la mejora en el número de flores y brotes (Wongsrisakulkaew *et al.*, 2017). Por otro lado, en Brasil Do Amaral Brogio *et al.* (2018) realizaron aplicaciones foliares de PBZ (1750 mg L⁻¹) en aguacate (*Persea americana* L.) 'Hass' y encontraron que modificó la forma del fruto y un incremento significativo en el tamaño del fruto.

La aplicación foliar de 2500 mg L⁻¹ de PBZ en el período inductivo de la yema floral (20-25 de noviembre) promovió la floración en un 40 y 51% en naranja (*Citrus dianenses* L. Osb.) 'Salustiana' y en *Citrus clementina* Hort. Ex tan 'Hernandina', respectivamente (Martínez-Fuentes *et al.*, 2013). En otro trabajo con naranja en la variedad 'Navel' injertada en 'Carrizo' (*Citrus sinensis* L. *Usbeko* x *Poncirus trifoliata* Raf.), pero con la aplicación al suelo y previa a la cosecha de 1000 mg L⁻¹, se obtuvo una mejora significativa en el color (tonalidad de color) y el contenido de carotenoides de los frutos cosechados con respecto al testigo (Rehman *et al.*, 2018).

Al igual que en otros países, en México se utiliza el PBZ para promover floración en mango (*Mangifera indica* L.) 'Ataulfo' como el reportado por Pérez-Barraza *et al.* (2018), los cuales realizaron la aplicación de PBZ 30 días después de la poda, en la que observaron una entrada más temprana en el período de floración (45 días) con respecto al testigo. En la variedad 'Manila' este mismo autor al aplicar 10 mL de PBZ por árbol encontró variación significativa al adelantar 15 días la floración e incrementar el peso y tamaño del fruto (Pérez-Barraza *et al.*, 2011).

En guayaba (*Psidium guajaba* L.) 'Calvillo' se aplicó en concentraciones de 1 y 2 mL árbol⁻¹ en la base del tallo después de la poda y afectó el crecimiento vegetativo

con una reducción de entre 15 y 41%, con un incremento en el número de frutos del 30% (Padilla-Ramírez *et al.*, 2017). En el Cuadro 2 se describen la dosis, efecto y tipo de aplicación (edáfica y foliar) de PBZ en diversos frutales.

Cuadro 2. Dosis y efectos de PBZ aplicado al suelo en diversos frutales.

Frutal	Forma de aplicación	Dosis	Efecto	Fuente
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Edáfica	300	Reducción del crecimiento vegetativo. Incrementó del 30% la floración Incrementó entre 45% y 54% la producción de flores femeninas Incremento de la concentración de clorofila a y b en 54% y 30%, respectivamente.	Mog <i>et al.</i> , 2019
<i>Litchi chinensis</i> Sonn	Edáfica	100 200 300 400	Incrementó la concentración de clorofila a y b. Se redujo el contenido foliar de nitrógeno (1.5%). La dosis alta incrementó 60% el rendimiento.	Singh <i>et al.</i> , 2019
<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh) K. Koch	Edáfica	300 900 1500 1250	Retraso anual del crecimiento del brote terminal con respecto al control Incrementó la producción de brotes cortos en un 60%, con reducción en los brotes largos para todas las dosis con respecto al control Incremento la floración en un 35% con la dosis menor Inhibió el crecimiento vegetativo (menor longitud de brotes).	Zhu y Stafne 2019 Luo <i>et al.</i> , 2106;
<i>Mangifera indica</i> . L	Edáfica	750 1000	Reducción del crecimiento de brotes en 30% y 13%, respectivamente. Modificó la fecha de floración en un promedio de 45 días con respecto al control. Ambas dosis incrementaron el número de panículas. Incrementó significativamente la productividad Aumentó la producción ocho veces más que el control en ambas dosis Mejora la calidad del fruto en ambas dosis	Zhu y Stafne 2019
<i>Mangifera indica</i> . L	Edáfica	700 1000 1300 1600 1900	Las dosis más bajas aumento 23% el intercambio gaseoso que fueron presentadas por las dosis más bajas El aumento de las dosis de paclobutrazol provocó una disminución del 31% en azúcares solubles totales, 54% en azúcares reductores y 29% en azúcares no reductores.	Souza <i>et al.</i> , 2016
	Foliar	320 2500 1000	Incremento en 25% la floración. Incremento en 60% de floración y diferenciación de yemas Promovió en 80% la floración y disminuyó significativamente la longitud de brotes	Barman y Mishra 2018
<i>Olea europaea</i> L	Edáfica	10 20	La aplicación inhibe el crecimiento en un 55% y un 82% para cada dosis.	Ajim <i>et al.</i> , 2020
<i>Morus alba</i> L.	Edáfica	5 10 25 50 100 500	Incremento en la acumulación de biomasa (hojas) y la tasa fotosintética neta (38%).	Mohan <i>et al.</i> , 2019
<i>Psidium guajava</i> L.	Edáfica	100 200	La tasa de crecimiento disminuyó entre 15% y 41% con respecto al testigo. Incremento del 30% y 37% de rendimiento y el número de frutos, respectivamente.	Padilla-Ramírez <i>et al.</i> , 2017
<i>Persea americana</i> Mill.	Foliar	1750	Incremento la longitud, diámetro y peso del fruto en 11%, 5.3% y 1.5%, respectivamente con respecto al testigo.	Do Amaral Borgio <i>et al.</i> , 2018
<i>Pyrus communis</i> L.	Foliar	200	Inhibió el crecimiento vegetativo. Incremento la calidad del fruto (SST, azucares totales y jugo) y el rendimiento.	Lal <i>et al.</i> , 2018
<i>Vitis vinifera</i> L	Foliar	200 300	Aumentó el peso de racimo en un 54% (107.41 g) en comparación con el control (69.84 g) al igual que un aumento en el rendimiento en 64%. Aumentó el contenido de clorofila en 31.5% y redujo 33.8% la longitud de los brotes.	Baninasab y Shahgholi 2010
<i>Myrica rubra</i> Sieb. et Zucc.	Foliar	100 200	Incrementó el peso de la fruta en un 50%. Incrementó el peso de la fruta en un 30.5% y aumentó las concentraciones de solidos solubles en 13% y disminuyó la acidez total en un 38%.	Meng <i>et al.</i> , 2012

Nota: la dosis se expresa en miligramos por litro (mg L⁻¹).

El PBZ puede ser una herramienta para incrementar rendimientos en cultivos frutales como el de pera, litchi, mango, si se aplica en concentración y etapa fenológica adecuada, sin embargo, se requiere conocer el proceso fisiológico de la especie y que se pretende modificar, qué puede repercutir en mejorar el rendimiento y calidad del producto cosechado (Ajmi *et al.*, 2020; Soumya *et al.*, 2017; Tesfahun, 2018).

Efectos del PBZ en el medio ambiente

En estudios recientes, se ha demostrado la residualidad del PBZ dado que afecta la vida microbiana del suelo (reducción en el número de hongos, bacterias, actinomicetos y lombrices), lo que deteriora el crecimiento y desarrollo de las plantas (Wang *et al.*, 2019). Además de que se puede presentar lixiviación y contaminar los mantos acuíferos (Osuna-García *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2019). Por otro lado, el comportamiento del PBZ en el suelo tiene un efecto residual de 450 a 950 días y que se pueden mantener a una profundidad de 60 a 120 cm (Kishore *et al.*, 2015). Otros autores reportaron que el PBZ es fácilmente absorbido las raíces de los cultivos y puede tener una persistencia en el suelo de 43 a 618 días, con concentraciones que oscilan entre 1.1 y 50 mg kg⁻¹. Otro efecto importante es la inhibición del crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantaciones realizadas en los suelos con aplicaciones previas de PBZ (Jiang *et al.*, 2019). Por otro lado, en mango Lin *et al.* (2010) al evaluar aplicaciones de PBZ reportan una reducción en la densidad de microorganismos benéficos del suelo, en particular, número de bacterias, hongos y actinomicetos en 58, 28 y 28% respectivamente.

La vida del PBZ en el agua es más corta, es decir, no mayor a 3 semanas, pero puede provocar daño potencial a la flora y fauna (Kishore *et al.*, 2015). La presencia de PBZ en el agua puede causar diversos efectos fisiológicos en los peces (tasa de supervivencia, eclosión embrionaria, falla en el desarrollo del esqueleto de la cabeza y ojos) (Wang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2019). Como es el caso de la *Daphnia magna* (pulga de agua) quien presentó deformidades físicas cuando se expuso a 240 µg L⁻¹ de PBZ en la etapa embrionaria (Grant *et al.*, 2018). Al evaluar la supervivencia y el efecto nocivo de PBZ (0.34, 3,4, 17 Mm) aplicados en embriones de peces zebrafish (*Danio rerio*) con 24, 36, 48, 60, 72 y 96 horas

después de su fertilización, Wang *et al.* (2019) reportan el desarrollo de edema pericardio, disfunción cardiovascular y malformaciones esqueléticas. Osuna-García *et al.* (2001) al aplicar en mango 'Tommy Atkins' dosis de 5 y 2.5 mL de PBZ por árbol, encontraron trazas en las muestras de fruto, sin embargo, los autores indican que su concentración no es nociva para la salud humana.

El residuo de PBZ puede afectar la salud humana a través del contacto directo, inhalación, contaminación de cuerpos de agua, consumo de pescado contaminado y frutas que contienen residuos (Kishore *et al.*, 2015). Los efectos perjudiciales en la salud pueden ocurrir años después de una exposición mínima en el medio ambiente, en alimentos y agua (Lozowicka, 2015). Existen pocos estudios en los cuales se puedan especificar los efectos nocivos causados a la salud humana por la ingesta o contacto con el PBZ (Burns *et al.*, 2013). Se han realizado experimentos donde alimentaron ratas en estado de gravidez, con dosis de 1.0 mg kg⁻¹, que se extrapolan al ser humano, en los cuales, no se presentaron afectaciones reproductivas, pero presentaron malformaciones (paladar hendido) el cual se atribuyó a un efecto tóxico y recomendaron hacer más estudios para determinar si el PBZ es el causante de dicho efecto (European Food Safety Authority [EFSA], 2010).

CONCLUSIONES

El uso de PBZ en frutales (mango, lima, manzano y guayabo) inhibe la biosíntesis de giberelinas (reduce el crecimiento vegetativo) e induce floración con el consecuente incremento del rendimiento. Por otro lado, en algunos países se encuentra prohibido y/o restringido debido a que se tienen evidencias documentales de residualidad y con efectos nocivos en el medio ambiente (suelo y mantos acuíferos). Motivo por el cual, el manejo agronómico de PBZ, deberá contar con protocolos que busquen su regulación con un enfoque racional y sustentable.

LITERATURA CITADA

Ajmi, A., A. Larbi, M. Morales, E. Fenollosa, A. Chaari y S. Munné-Bosch (2020)
Foliar paclobutrazol application suppresses olive tree growth while promoting

fruit set. *Journal of Plant Growth Regulation* 39:1638-1646,
<https://doi.org/10.1007/s00344-020-10188-z>

Altieri, M. A., F. R. Funes-Monzote y P. Petersen (2012) Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development* 32:1-13,
<https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>

Baninasab, B. y M. Shahgholi (2010) Effect of paclobutrazol on vegetative growth, yield and fruit quality of 'Keshmeshi Bovanat' grape. *Acta Horticulturae* 931:449-452, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.931.53>

Barman, P. y D. Mishra (2018) Tip pruning for synchronized vegetative growth and controlling alternate bearing in mango (*Mangifera indica*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 88:621-627, Retrieved from <http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAgS/article/view/79137>

Burns, C. J., L. J. McIntosh, P. J. Mink, A. M. Jurek y A. A. Li (2013) Pesticide exposure and neurodevelopmental outcomes: review of the epidemiologic and animal studies. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 16:127-283,
<https://doi.org/10.1080/10937404.2013.783383>

Chávez-Suárez, L., A. Álvarez-Fonseca y R. Ramírez-Fernández (2012) Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales* 33:47-56, Retrieved from <http://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/issue/view/48>

Cruz, M. D. C. M. D., D. L. D. Siqueira, L. C. C. Salomão y P. R. Cecon (2008) Influence of paclobutrazol and of the environment temperature on flowering and fruitification of acid lime 'Tahiti'. *Ciência e Agrotecnologia* 32:1148-1153,
<https://doi.org/0.1590/S1413-70542008000400017>

Díaz, D. A. V., L. S. Pérez, P. P. Rangel, M. Á. S. Castruita, J. A. G Fuentes y J. R. Valenzuela-García (2016) Effect of salicylic acid on the production and nutraceutical quality of tomato fruits *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17:3405-3414, Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149506002>

Do Amaral Brogio, B., S. R. Da Silva, T. Cantuarias-Avilés, S. F. Angolini, E. G., Baptista y R. V. Ribeiro (2018) Influence of gibberellin inhibitors on the

flowering of non-irrigated 'hass' avocados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 53:918-923, <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000800006>

EFSA, European Food Safety Authority (2010) Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance paclobutrazol. *EFSA Journal* 8:876. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1876>

Fahad, S., S. Hussain, A. Matloob, F. A. Khan, A. Khaliq, S. Saud, S. Hassan, D. Shan, F. Khan, N. Ullah, M Faiq, M. R. Khan, A. K. Tareen, A. Khan, A. Ullah, N. Ullah y J. Huang (2015) Phytohormones and plant responses to salinity stress: a review. *Plant Growth Regulation* 75:391-404, <https://doi.org/10.1007/s10725-014-0013-y>

Grant, G. A., P. R. Fisher, J. E. Barrett, y P. C. Wilson (2018) Removal of paclobutrazol from irrigation water using granular-activated carbon. *Irrigation Science* 36:159-166, <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0572-1>

Hedden, P. y V. Sponsel (2015) A century of gibberellin research. *Journal of plant growth regulation* 34:740-760, <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9546-1>

Hernández-Silva, E. y I. García-Martínez (2016) Brassinosteroids in agricultura I. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 7:441-450. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.356>

Jiang, X., Y. Wang, H. Xie, R. Li, J. Wei y Y. Liu (2019) Environmental behavior of paclobutrazol in soil and its toxicity on potato and taro plants. *Environmental Science and Pollution Research* 26:27385-27395, <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05947-9>

Kishore, K., H. Singh y R. Kurian (2015) Paclobutrazol use in perennial fruit crops and its residual effects: A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85:863-872, Retrieved from <http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAgS/article/view/50091>

Koprna, R., N. De Diego, L., Dundálková y L. Spíchal (2016) Use of cytokinins as agrochemicals. *Bioorganic & medicinal chemistry* 24:484-492, <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2015.12.022>

Lal, M., M. Mir, U. Iqbal y A. Kumar (2018) Response of prohexadione calcium and paclobutrazol on growth and physio-chemical characteristics of pear cv. Clapp's favorite. *Indian Journal of Horticulture* 75:191-196, <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2018.00035.X>

- Lin C. H., J. Kuo Y. W. Wang, M. Chen y C. H. Lin (2010)** Bacterial diversity in paclobutrazol applied agricultural soils. *Journal of Environmental Science and Health Part B* 45:710-717, <https://doi.org/10.1080/03601234.2010.502464>
- Lozowicka B. (2015)** Health risk for children and adults consuming apples with pesticide residue. *Science of the Total Environment* 502:184-198, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.026>
- Luna-Esquivel, E. N., D. L. Ojeda-Barrios, V. M. Guerrero-Prieto, T. Ruiz-Anchondo y J. J. Martínez-Téllez (2014)** Polyamines as indicators of stress in plants. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 20:283-295, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.05.019>
- Luo, X., Z. Li, Z. Sun y X. Wan (2016)** Analysis of pecan cultivars mahan and western in east china. *Genetics and Molecular Research* 15:gmr.15038732, <https://doi.org/10.4238/gmr.15038732>
- Luo, Z., L. Zhang, Y. Mou, S. Cui, Z. Gu, J. Yu y X. Ma (2019)** Multi-residue analysis of plant growth regulators and pesticides in traditional chinese medicines by high-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Analytical and bioanalytical chemistry* 411:2447-2460, <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01691-8>
- Martínez-Damián, M. T., R. Cano-Hernández, E. C. Moreno-Pérez, F. Sánchez-del-Castillo y O. Cruz-Álvarez (2019)** Effect of preharvest growth bioregulators on the physicochemical quality of saladette tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 25:29-43, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.013>
- Martínez-Fuentes, A., C. Mesejo, N. Muñoz-Fambuena, C. Reig, M. C. González-Mas, D. J. Iglesias, E. Primo-Millo y M. Agustí (2013).** Fruit load restricts the flowering promotion effect of paclobutrazol in alternate bearing Citrus spp. *Scientia Horticulturae*, 151:122-127, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.014>
- Meng, C.F., P. K. Jiang, Z. H. Cao, G. M. Zhou y Q. F. Xu (2012).** Effects of Boron and Paclobutrazol on Growth, Fruit Set, Nutrient Uptake, and Alternate Bearing of Muye Red Bayberry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(16):2114-2125, <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.697233>
- Mesejo, C., R. Yuste, C. Reig, A. Martínez-Fuentes, D. J. Iglesias, N. Muñoz-Fambuena, A. Bermejo, M. A. Germaná, E. Primo.Millo y M. Augustí**

(2016). Gibberellin reactivates and maintains ovary-wall cell division causing fruit set in parthenocarpic Citrus species. *Plant Science* 247:13-24, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.02.018>

Mirzajani, R., Z. Ramezani y F. Kardani (2017) Selective determination of thidiazuron herbicide in fruit and vegetable samples using molecularly imprinted polymer fiber solid phase microextraction with ion mobility spectrometry detection (MIPF-SPME-IMS). *Microchemical Journal* 130:93-101. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.08.009>

Mog, B., P. Janani, M. Nayak, J. Adiga y R. Meena (2019) Manipulation of vegetative growth and improvement of yield potential of cashew (*Anacardium occidentale* L.) by paclobutrazol. *Scientia Horticulturae* 257:108748. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108748>

Mohan, R., T. Kaur, H. A. Bhat, M. Khajuria, S. Pal y D. Vyas (2019) Paclobutrazol induces photochemical efficiency in mulberry (*Morus alba* L.) under water stress and affects leaf yield without influencing biotic interactions. *Journal of Plant Growth Regulation* 39:1-11. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09975-0>

Nisler J. (2018) TDZ: Mode of Action, Use and Potential in Agriculture. In: Thidiazuron: From Urea Derivative to Plant Growth Regulator. Ahmad N., Faisal M. (eds) Springer, Singapore. pp:37-59, https://doi.org/10.1007/978-981-10-8004-3_2

Osuna-García, J. A., R. Báez-Sañudo, V. M. Medina-Urrutia y X. Chávez-Contreras (2001) Paclobutrazol reidues in “Tommy Atkins” mango fruits (*Mangifera indica* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7:275-282, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2000.10.069>

Padilla-Ramírez, J. S., V. M. Rodríguez-Moreno, E. González-Gaona, E. S. Osuna-Ceja y M. H. Pérez-Barraza (2017) Influence of paclobutrazol on shoot growth and yield of *Psidium guajava* L. in high density. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 8:3965-3977, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.666>

Pai, S. R. y N. S. Desai (2018) Effect of TDZ on various plant cultures. In Thidiazuron: From urea derivative to plant growth regulator. Ahmad N., Faisal M. (eds) Springer, Singapore. pp:439-454, https://doi.org/10.1007/978-981-10-8004-3_25

- Pérez-Barraza, M. H., J. A. Osuna-García, R. Sánchez-Lucio y V. Vázquez-Valdivia (2011)** Paclobutrazol ensures abundant and advanced flowering in 'manila' mango, even without environmental conditions. *Revista Chapingo Serie horticultura* 17:47-52, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.037>
- Pérez-Barraza, M. H., E. Avitia-García, R. Cano-Medrano, M. A. Gutiérrez-Espinosa, T. Osuna-Enciso y A. I. Pérez-Luna (2018)** Temperatura e inhibidores de giberelinas en el proceso de floración del mango cv 'Ataulfo'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:543-549, Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/41-4A.html>
- Rademacher W. (2015)** Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. *Journal of plant growth regulation* 34:845-872, <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
- Rademacher W. (2016)** Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annual Plant Reviews* online 49:359-403, <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0541>.
- Rehman, M., Z. Singh y T. Khurshid (2018)** Pre-harvest spray application of prohexadione-calcium and paclobutrazol improves rind colour and regulates fruit quality in M7 Navel oranges. *Scientia Horticulturae* 234:87-94, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.018>
- Sarker, B., M. Rahim y D. Archbold (2016)** Combined effects of fertilizer, irrigation, and paclobutrazol on yield and fruit quality of mango. *Horticulturae* 2:14. <https://doi.org/10.3390/horticulturae2040014>
- Souza, M. A., A. C. Mésquita, W. L. Simões, K. M. Ferreira y E. F. J. Araujo (2016)** Physiological and biochemical characterization of mango tree with paclobutrazol application via irrigation. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 46:442-449, <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4642829>
- Singh, S.K., A.K. Pandey y P. Singh (2019)** Gaseous exchange, biochemical parameters and yield as affected by application techniques and doses of paclobutrazol in litchi tree. *Indian Journal of Horticulture* 76:265-272, <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2019.00041.0>
- Soumya, P., P. Kumar y M. Pal (2017)** Paclobutrazol: A novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology* 22:267-278, <https://doi.org/10.1007/s40502-017-0316-x>

- Tesfahun W. (2018)** A review on: response of crops to paclobutrazol application. *Cogent Food & Agriculture* 4:1525169, <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1525169>
- Urquía-Fernández N. (2014)** La seguridad alimentaria en México. *Salud pública de México* 56:s92-s98. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v56s1/v56s1a14.pdf>
- Wang, W. D., G. T. Chen, H. J. Hsu y C. Y. Wu (2015)** Aryl hydrocarbon receptor 2 mediates the toxicity of Paclobutrazol on the digestive system of zebrafish embryos. *Aquatic Toxicology* 159:13-22, <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.11.018>
- Wang, W. D., C. Y. Wu y B. K. Lonameo (2019)** Toxic effects of paclobutrazol on developing organs at different exposure times in zebrafish. *Toxics* 7:62, <https://doi.org/10.3390/toxics7040062>
- Waters, M. T., C. Gutjahr, T. Bennett y D. C. Nelson (2017)** Strigolactone signaling and evolution. *Annual Review of Plant Biology* 68:291-322, <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040925>
- Wongsrisakulkaew, Y., U. Boonprakob, R. Sethpakdee y N. Juntawong (2017)** Effect of paclobutrazol concentrations and time of foliar application on flowering of 'Namdokmai-Sitong' mango. *International Journal of GEOMATE* 12:41-45, <https://doi.org/0.21660/2017.30.96545>
- Wu, S., M. Yu, H. Zhang, J. Han y M. Qian (2015)** Enantioselective degradation of (2RS, 3RS) paclobutrazol in rat liver microsomes. *Chirality* 27:344-348, <https://doi.org/10.1002/chir.22440>
- Zhang, L., Z. Luo, S. Cui, L. Xie, J. Yu, D. Tang, X. Ma y Y. Mou (2019)** Residue of paclobutrazol and its regulatory effects on the secondary metabolites of *Ophiopogon japonicas*. *Molecules* 24:3504, <https://doi.org/10.3390/molecules24193504>
- Zhu, H. y E. T. Stafne (2019)** Influence of paclobutrazol on shoot growth and flowering in a high-density pecan orchard. *HortTechnology* 29:210-212, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04241-18>
- Zuo X., D. Zhang, S. Wang, L. Xing, Y. Li, S. Fan, L. Zhang, J. Ma, C. Zhao, K. Shah, N. An y M. Han (2018)** Study on mobility, distribution and rapid ion mobility spectrometry detection of seven pesticide residues in cucumber,

apple, and cherry tomato. *Journal of agricultural and food chemistry* 65:182-189, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03084>.

CAPÍTULO II: APLICACIÓN DE ALGUNOS BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO EN NOGAL

RESUMEN

La nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.] es una especie caducifolia con un alto impacto económico y valor nutricional que presenta alternancia. La mitigación de la alternancia a través de la iniciación floral de flores pistiladas es muy importante para mejorar el rendimiento y la calidad de la nuez. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de algunos bioreguladores de crecimiento sobre el rendimiento y la calidad de la nuez. La aplicación de ácido giberélico (GA3 - 50 mg L⁻¹), thidiazuron (TDZ - 10 mg L⁻¹) y prohexadiona cálcica (PCa - 500 mg L⁻¹) se realizó durante dos años (2017 y 2018) en árboles jóvenes de nuez 'Western Schley' en un huerto ubicado en Chihuahua, México. La aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento minimizó la alternancia al mantener el número de frutos amarrados antes de la cosecha entre los años de evaluación. Entre los ciclos de producción evaluados, los datos obtenidos indican que la aplicación de bioreguladores de crecimiento afectó el rendimiento, sin embargo, el peso de la nuez por kilogramo se mantuvo similar con TDZ (5.6 y 5.7 g). El PCa fue el mejor tratamiento para ambos parámetros. Asimismo, se observó una variación significativa en el índice de alternancia con respecto al control. Por otro lado, el porcentaje de almendra mostró el mejor comportamiento entre años y tratamientos con el uso de GA3 y PCa. El uso de los bioreguladores de crecimiento evaluados podría ser una estrategia de manejo agronómico para minimizar la alternancia en los árboles de nuez 'Western Schley'.

PALABRAS CLAVES: ácido giberélico; *Carya illinoensis*; índice de alternancia; prohexadiona de calcio; thidiazuron

ABSTRACT

The pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.] is a deciduous species with high economic impact and nutritional value that exhibits alternate bearing. The mitigation of alternate bearing through the floral initiation of pistillate flowers is very important to improve the yield and nut quality. The aim of this research was to evaluate the effect of the application of some growth bioregulators on the yield and nut quality in pecan. The application of gibberellic acid (GA3 - 50 mg L⁻¹), thidiazuron (TDZ - 10 mg L⁻¹) and prohexadione calcium (PCa - 500 mg L⁻¹) was carried out during two years (2017 and 2018) on young 'Western Schley' pecan trees from an orchard located in Chihuahua, Mexico. The foliar application of growth bioregulators minimized alternate bearing by maintaining the number of fruits tied before harvest between the evaluation years. Between the evaluated production cycles, the data obtained indicates that the application of growth bioregulators affected the yield, however, the nut weight per kilogram remained similar with TDZ (5.6 and 5.7 g). PCa was the best treatment for both parameters. Likewise, a significant variation in the alternate bearing index with respect to the control was observed. On the other hand, the kernel percentage showed the best behavior between years and treatments with the use of GA3 and PCa. The use of the evaluated growth bioregulators could be an agronomic management strategy to minimize alternate bearing in 'Western Schley' pecan trees.

KEY WORDS: *Carya illinoensis*; alternate bearing index; prohexadione calcium; gibberellic acid; thidiazuron

INTRODUCCIÓN

La nuez [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] es un cultivo de gran rentabilidad e importancia socioeconómica a nivel mundial (Ojeda-Barrios *et al.*, 2016). Los árboles de nuez tardan diez años en convertirse en árboles maduros capaces de producir nueces (Randall *et al.*, 2015). Los árboles maduros de nogal exhiben un fenómeno conocido como alternancia, una variación en la producción anual de nueces entre años de alto rendimiento y años de bajo rendimiento (Smith, 2012). Este fenómeno causa pérdidas económicas a los productores de nueces (Kumar *et al.*, 2016). El comportamiento alternativo está relacionado con la concentración de carbohidratos almacenados durante el invierno (Rohla *et al.*, 2007), lo que afecta la formación y desarrollo de flores femeninas en el año siguiente (Randall *et al.*, 2015).

El proceso de producción, que comprende la floración, amarre y llenado de frutos, inhibe la floración y fructificación del siguiente ciclo porque consume mucha energía. Además, en años de baja producción hay un mayor desarrollo de estructuras vegetativas, que ayudan a acumular más reservas (nutrientes y carbohidratos) para producir una floración intensa y alto rendimiento en el próximo ciclo (Rebolledo y Romero, 2011; Sharma *et al.*, 2019; Wood, 2011). Los bioreguladores de crecimiento también provocan la inducción de flores (Zuo *et al.*, 2018), y la presencia de flores determina la productividad del nogal (Smith, 2012).

Los bioreguladores de crecimiento pueden ser sustancias naturales o sintéticas que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta (Martínez-Damián *et al.*, 2019). Entre estas, se pueden identificar hormonas (auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico), que se clasifican según similitudes estructurales y sus efectos en la fisiología de las plantas (Smith, 2012). En los cultivos perennes, una variedad de bioreguladores influyen en la mejora o reducción del crecimiento de las yemas, la floración, la formación de frutos, la maduración, la calidad de los frutos y la defoliación (Rademacher, 2015; Wood, 2011).

Se ha demostrado que el uso oportuno de promotores florales, como el ácido giberélico (GA3), la prohexadiona de calcio (PCa) y el thidiazuron (TDZ) es útil en los años "on" para promover el retorno de la floración en el siguiente año "off",

mientras que el uso de ácido giberélico, en años "off " ayuda a disminuir la floración del año siguiente. Se desconoce si estos promotores e inhibidores afectan la floración del nogal de la misma forma (Wood, 2011). La aplicación de TDZ regula el inicio del órgano floral y la arquitectura floral, convirtiendo una determinada flor en inflorescencia (Han *et al.*, 2014). En árboles frutales caducifolios templados, como en 'Golden Delicious', el PCa reduce la longitud de los brotes y aumenta la producción del número de frutos amarrados (Pérez-Barraza *et al.*, 2016). GA3 aumenta el número de frutos cosechados en el cultivo de mango (Pérez-Barraza *et al.*, 2009; Pérez-Barraza *et al.*, 2015).

En nogal, la aplicación oportuna de bioreguladores de crecimiento puede actuar directamente sobre los botones de florales pistiladas (Wood, 2011). La aplicación de PCa en años de alta floración promovió aún más la floración, mientras que el uso de GA3 durante un año de floración baja disminuyó la floración en el año siguiente (Smith, 2012). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de algunos bioreguladores de crecimiento sobre el rendimiento y la calidad de la nuez en la nuez.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante dos años consecutivos (2017-2018) en Sacramento, Chihuahua, México, a 28 ° 57'1.44 "N, 106 ° 14'2.73" W y altitud de 1,440 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación y promedio anual. temperatura de 366,5 mm y 17,8 ° C, respectivamente. El suelo se caracterizó como textura franco arenosa, con 0,95% de materia orgánica, pH 7,6 y CE 2,5 dS m⁻¹. La composición química fue la siguiente (mg kg⁻¹): 18 N-total, 8 P, 275 K⁺, 5.406 Ca²⁺, 320 Mg²⁺, 139 Fe²⁺, 180 Mn²⁺, 13 Zn²⁺ y 4 Cu²⁺. Los árboles eran del cultivar 'Western Schley' de 12 años, en portadores de injertos nativos. El espaciamiento entre huertos era de 6 x 12 m (139 árboles por hectárea) Se obtuvo la composición mineral de los folíolos de los árboles utilizados (Cuadro 4) El 15 de abril de 2017 marcó el inicio del experimento.

Cuadro 3. Composición mineral en folíolos del cultivar de nogal 'Western Schley' seleccionado para este experimento.

Año	Macronutrientes (g kg ⁻¹)				
	N-total	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
2017	18.91	1.85	15.30	27.30	3.18
2018	24.70	1.92	17.00	25.30	3.35
	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
	Fe ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Ni
2017	154.00	5.85	215.20	38.50	3.70
2018	175.00	4.35	224.30	34.55	4.10

Durante la primera semana de marzo se fertilizó el huerto con 150 unidades de nitrógeno, en forma de sulfato de amonio (20,5% N y 24% SO₄). La primera aplicación foliar de Zn²⁺ (250 mg L⁻¹) se realizó una vez que los árboles mostraron un 80% de brotación y posteriormente cada dos semanas, con un total de seis aplicaciones. Para controlar el gusano barrenador (*Acrobasis nuxvorella* Neunzig), se aplicaron 0,5 L de Intrepid™ por hectárea. El riego se realizó mediante micro aspersión en una circunferencia de 7 m alrededor de los árboles. El volumen total de agua de riego fue de aproximadamente 16.800 m³ ha⁻¹ por ciclo vegetativo (brotación hasta cosecha).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones. Los tratamientos fueron T1: 50 mg L⁻¹ GA3 (ProGibb®, Bayer Crop Science, EE. UU.), T2: 500 mg L⁻¹ PCa (Apogee®, BASF, EE. UU.), T3: 10 mg L⁻¹ TDZ (Revent® 500 SC, Bayer Crop Science, EE. UU.) Y T4: Control (agua). La unidad experimental consistió en un árbol. Se seleccionaron un total de 40 árboles según el perímetro del tronco (57,5 ± 10 cm) y la floración (≥ 60%). A cada árbol se le suministró 1 ml L⁻¹ de surfactante INEX-A™ (Cosmocel, México) y urea foliar al 1% para penetración, como parte del tratamiento. El pH de la solución se ajustó a 5,8 con ácido clorhídrico. Los tratamientos se aplicaron foliarmente durante dos años (2017-2018) a los 0, 56, 70 y 84 días después de la plena floración.

Para determinar el conteo de flores femeninas durante el crecimiento anual de cada unidad experimental, se seleccionó una rama principal con un diámetro de 34 a 39

cm; después de lo cual se utilizaron tres ramas secundarias para determinar el número promedio de racimos de flores pistiladas. Los estadios fenológicos se muestran en la figura 2. Los muestreos se realizaron en floración, polinización, crecimiento de nuez, estado acuoso de nuez, endurecimiento de la cáscara y llenado de nuez. Cada una de esas etapas se muestreó entre 2017 y 2018 el 20 de abril (B. flor receptiva), el 15 de mayo (C. flor polinizada), el 15 de junio (D. después de la polinización), el 15 de julio (E, F, crecimiento de la nuez), agosto 15 (G. lleno de almendra) y 15 de septiembre (H. astilla dividida), respectivamente. Los frutos totales atados antes de la cosecha (FTBH) se contaron en los brotes terminales (H).

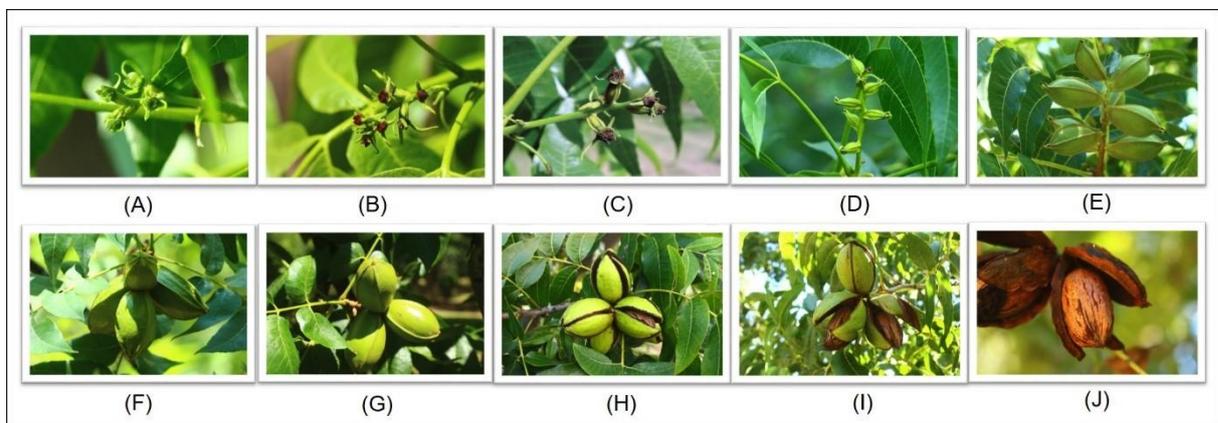


Figura 2. Etapas fenológicas de flor femenina de nuez pecanera ‘Western Schley’. Floración femenina (A); (B) flor receptiva; (C) flor polinizada; (D) después de la polinización, cuajado; (E, F, G) crecimiento y desarrollo del fruto, en el cual intervienen dos etapas: el crecimiento de la nuez y desarrollo del endospermo líquido; llenado de almendra y crecimiento del embrión; (H) astilla partida; (I) apertura del ruezno; (J) caída de nuez.

El 20 de noviembre de cada año (2017 y 2018), los árboles fueron vibrados mecánicamente para evaluar el rendimiento de nueces (kilogramos por árbol) (Wood, 2011). Se evaluó el peso de la nuez por kilogramo, de acuerdo a la norma mexicana de productos alimenticios no industrializados para consumo humano fruto fresco - nuez pecanera [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]] - especificaciones y métodos de prueba de 2009 (NMX-FF-084-SCFI -2009). El porcentaje de almendra se determinó pesando 300 g de nueces, luego separando la cáscara de la almendra y pesando cada uno por separado (NMX-FF-084-SCFI-2009). Con el fin de observar y analizar el fenómeno de alternancia y el efecto que tienen los

bioreguladores de crecimiento sobre el índice de alternancia se determinó mediante el coeficiente de variación con respecto al rendimiento en los ciclos evaluados (Noperi-Mosqueda *et al.*, 2020).

Los datos (frutos amarrados antes de cosecha, rendimiento, peso de nuez por kilogramo y porcentaje de almendra) se analizaron utilizando el procedimiento GLM del software SAS (Versión 9.1) para evaluar la importancia de los factores principales y la importancia de las interacciones. Las diferencias significativas se probaron a $P \leq 0.05$ usando la prueba de rango múltiple de Tukey. Antes del análisis estadístico, los datos, ahora expresados en porcentajes, se sometieron a transformación con \log_{10} y se presentaron a lo largo de sus valores originales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los frutos amarrados antes de cosecha son indicativos del rendimiento total de nueces en el árbol de nogal (Wood, 2011). En esta investigación los frutos atados antes de la cosecha fueron estadísticamente significativos para tratamiento y año ($P \leq 0.05$). Se encontró que la aplicación de bioreguladores de crecimiento minimizó la alternancia con respecto al control, ya que los frutos amarrados antes de cosecha fueron similares para ambos años. Cabe señalar que, entre los tratamientos, GA3 mostró los mejores resultados (10,4 y 12,2 FTBH) (Cuadro 5). Al respecto, estos resultados coinciden con lo reportado por Wood (2011). Otros estudios muestran que TDZ presentó una acción similar, promoviendo un mayor número de frutos amarrados (Smith, 2012) al aumentar las concentraciones endógenas de citoquininas (Nisler *et al.*, 2016). Alternativamente, el retorno de la floración dependerá de la cantidad de frutos amarrados en el ciclo, lo que aumenta la condición alterna en los árboles (Sharma *et al.*, 2019).

Algunos autores informan que las giberelinas pueden considerarse inhibidores de la floración, minimizando así el número de frutos (Cano-Hernández *et al.*, 2019, Sharma *et al.*, 2019). En *Malus domestica* Borkh, se asperjaron tres dosis de GA3 (100, 300 y 500 mg L⁻¹) en tres aplicaciones separadas en temporada de bajo rendimiento. Solo la aplicación de 100 mg L⁻¹ disminuyó la densidad de floración entre un 20 y un 40%, lo que impactó en el rendimiento del próximo año (Schmidt

et al., 2009). De diferente manera, las aspersiones foliares de 500 mg L⁻¹ de PCa en árboles de nogal en años de alto rendimiento tuvieron un aumento del 38% en el rendimiento en comparación con el control en el año siguiente (Wood, 2011). Rebolledo y Romero (2011), encontraron que la aplicación de GA3 en aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass', durante la temporada de alto rendimiento, disminuyó el número de frutos amarrados antes de cosecha en años de alto rendimiento. Sin embargo, también aumentó la floración y los frutos amarrados en la siguiente temporada de bajo rendimiento. El efecto de las giberelinas implica una reducción de la floración en años de alto rendimiento. Según Pérez-Barraza *et al.* (2015), el PCa es un promotor floral que bloquea la biosíntesis de giberelinas e inhibe su acción. La aplicación de diferentes bioreguladores de crecimiento (GA3, TDZ y PCa) podría programarse de acuerdo con las etapas de crecimiento del fruto (Chao *et al.*, 2011).

Cuadro 4. Frutos amarrados antes de cosecha, rendimiento, índice de alternancia y calidad de la nuez 'Western Schley' con aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento

T	FTBH		Rendimiento (kg árbol ⁻¹)		IA (%)	Peso de nuez por kg (g)		Porcentaje de almendra (%)	
	2017	2018	2017	2018		2017	2018	2017	2018
GA3	10.4 ±	12.2 ±	11.4 ±	16.2 ±	38A	5.8 ±	5.5 ±	59.4 ±	58.9 ±
	1.04aA	1.04aA	5.12aA	4.37bC		0.13aB	0.20bA	2.08aA	1.20aA
PCa	8.4 ±	10.2 ±	11.7 ±	18.9 ±	36A	5.9 ±	5.6 ±	59.9 ±	59.3 ±
	1.04aB	1.04aB	4.06aA	4.55bA		0.09aA	0.18bA	1.09aA	1.55aA
TDZ	7.0 ±	8.6 ±	10.9 ±	15.6 ±	37A	5.7 ±	5.6 ±	60.2 ±	58.3 ±
	1.04aC	1.04aC	5.9aA	2.33bC		0.2aB	0.16aA	1.68 aA	1.63bA
Con trol	7.3 ±	11.5 ±	5.9 ±	21.5 ±	65B	5.9 ±	5.6 ±	58.3 ±	56.6 ±
	1.04aC	1.04bA	1.42aB	5.85bA		0.05aA	0.14bA	1.03aB	0.74bB
Significancia									
T		*		ns			*		*
Y		*		*			*		*
T x Y		ns		*			ns		ns

T - tratamientos, Y – años, FTBH – frutos amarrados antes de cosecha, IA – índice de alternancia, GA3 – ácido giberélico (50 mg L⁻¹), PCa – prohexadiona de calcio (500 mg L⁻¹) and TDZ - thidiazuron (10 mg L⁻¹). Valores de medias ± desviación estándar (n=10). Diferentes letras minúsculas y mayúsculas en cada columna y fila representan diferencia significativa entre años y tratamientos (Tukey, P ≤ 0.05). * y ns son significativo P ≤ 0.05 y no significativo, respectivamente.

El rendimiento total de frutos secos expresado en kg por árbol es un parámetro importante debido a sus implicaciones económicas. El rendimiento depende del índice de alternancia, así como del manejo agronómico (riego, fertilización y control de plagas) (Wood, 2011). En esta investigación, el análisis de varianza fue significativo para el año y su interacción (tratamiento x año) (P ≤ 0.05). Sin embargo, la producción difirió estadísticamente cada año. Para 2017 (bajo rendimiento) a 2018 (alto rendimiento), la producción aumentó en kilogramos por árbol: 29,87% (4,84) para GA3, 30,53% (4,77) para TDZ, 38,10% (7,21) para PCa y 72,21% (15,57) para el control (Cuadro 5). Durante los dos años evaluados, GA3 y TDZ

presentaron menor variación en rendimiento. Según Morales (2006), la aplicación de TDZ (0, 250 300 y 400 mg L⁻¹) en árboles de nuez de 16 años en 'Western Schley' sólo es eficaz para reducir el rendimiento total de frutos secos en la dosis más alta. Por otro lado, varios trabajos mencionan que la producción aumenta con la aplicación de bioreguladores (Pasala *et al.*, 2017).

Un estudio realizado en el sureste de China sobre el cultivo de *Jatropha curcas*, donde se aplicaron cuatro dosis (0, 25, 75 y 225 µM) de TDZ en la aparición del primer, segundo, tercero y cuarto primordio floral, registró un aumento significativo en rendimiento de semilla con la aplicación de TDZ a una dosis de 225 µM que presentó un aumento en el número de flores femeninas. Por el contrario, las dosis más bajas (25 y 75 µM) presentaron menor número de flores femeninas (Pan *et al.* 2016). Un experimento realizado en pera 'D'Anjou', en el cual se aplicó PCa (125 mg L⁻¹) durante principios de primavera y (125 + 250 mg L⁻¹) en el retorno de crecimiento, se encontró que la producción había aumentado un 25% en comparación con el control (Einhorn *et al.*, 2014). Durante 2012, un estudio realizado en Nayarit, México el uso de GA3 (50 mg L⁻¹) en mango (*Mangifera indica* L.) 'Ataulfo', con aplicaciones a los 0, 15, 30, 45 y 60 días después de la plena floración, evidenció un incremento en kilogramos de fruto por árbol con un promedio de 47,5 kg en contraste a los 27,5 kg producidos por el testigo (Pérez-Barraza *et al.*, 2015). Otro estudio de Pérez-Barraza *et al.* (2016) aplicaron PCa en mango 'Ataulfo' a 150, 250, 500 mg L⁻¹ en tres o cuatro aplicaciones y 1500 mg L⁻¹ en una aplicación. El aporte de PCa 500 mg L⁻¹ en tres aplicaciones y 1500 mg L⁻¹ en una aplicación, incrementó la producción en un 40% y 38% respectivamente en comparación con el testigo (Pérez-Barraza *et al.*, 2015). Aunque no se observó un aumento en la cantidad de frutos, el tamaño de la fresa aumentó con aplicaciones de GA3 (300, 600 y 900 mg L⁻¹) en intervalos de 15 días después de que el fruto alcanzó un tamaño de 2 a 3 mm de longitud. (Viasus-Quintero *et al.*, 2013). Durante 2013 y 2014, la cosecha de lima en el estado de Guerrero, México suministrando con dosis de GA3 (30 mg L⁻¹) y TDZ (1 mg L⁻¹) por aspersión motorizada a finales de agosto. Ambos tratamientos fueron estadísticamente iguales, presentando una disminución del 50% en la producción en comparación con el testigo (Ariza-Flores *et al.*, 2015), lo que concuerda aún más con los resultados mostrados en esta investigación en

la que los bioreguladores de crecimiento regulan el rendimiento y atenúan la alternancia.

Un árbol frutal perenne produce cosechas abundantes en una temporada, lo que agota los depósitos de nutrientes y reduce la producción de nuevos brotes, lo que lleva a una disminución parcial o total del rendimiento en la temporada siguiente. El índice de alternancia, es medido como el coeficiente de variación del rendimiento, se ha utilizado ampliamente para estudiar la tendencia que tiene la alternancia en diferentes árboles frutales como manzanas, mangos, café, cítricos y pistachos (Sharma *et al.*, 2019). En la presente investigación, el índice de alternancia se comportó de la siguiente manera: GA3 38.15%, PCa 36.55%, TDZ 37.68% y Control 65.30% (Cuadro 5). La aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento es una alternativa de manejo agronómico para minimizar la alternancia en nogal pecanero 'Western Schley', con un promedio de 37,46%. El control muestra un índice de alternancia más alto en comparación con los otros tratamientos. Wood *et al.* (2003) reporta un índice de alternancia de 23% en árboles jóvenes de nogal (15 años) y 43% en árboles maduros (≥ 16 años). En este sentido, las reservas de carbohidratos están relacionadas con el índice de alternancia en diferentes cultivos frutales (Sharma *et al.*, 2019). La magnitud de la alternancia puede variar, ya que las reservas de carbohidratos dependen de las condiciones ambientales y el manejo del cultivo (Randall *et al.*, 2015).

El peso de la nuez es un indicador de calidad en el nogal (Baladrán-Valladares *et al.*, 2021). El peso promedio de la nuez que se encontró en esta investigación fue de entre 5.961 y 5.552 g, lo que se considera aceptable por NMX-FF-084-SCFI-2009. El análisis de varianza mostró un resultado significativo para este parámetro en año y tratamiento ($P \leq 0.05$); sin embargo, la interacción de ambos factores no fue significativa. El comportamiento del tratamiento difirió significativamente con el uso de GA3 y PCa presentando una disminución (0.257 y 0.289 respectivamente) del año 2017 al 2018. No obstante, TDZ presentó un patrón diferente al resto de los tratamientos, manteniéndose estadísticamente similar para ambos años (Cuadro 5). Entre tratamientos, la aplicación de PCa mostró el mayor peso de nuez, sin embargo, no superó estadísticamente a lo observado en el control. En contraste, Morales (2006) al evaluar tres dosis (250, 300 y 400 mg L⁻¹) de TDZ en nogal, indicó

una reducción en el número de nueces por kilogramo, lo que implica un mayor peso y tamaño de nuez. Sin embargo, con la aplicación de 300 mg L⁻¹ se reporta un aumento en el peso de la nuez.

El porcentaje de almendra es un parámetro de calidad importante y está directamente asociado con el precio de venta de la nuez en el mercado. (Ojeda-Barrios *et al.*, 2016). El análisis de varianza de este criterio fue significativo en año y tratamiento ($P \leq 0.05$), cuyo comportamiento fue similar al observado en el peso de la nuez. En este estudio se encontró que los valores del porcentaje de almendra están por encima del mínimo aceptable, que es 50% según NMX-FF-084-SCFI-2009. Se observó una disminución en el porcentaje de almendra de 2017 a 2018 para todos los tratamientos: GA3 0.67%, PCa 1.05%, TDZ 1.47% y Control 2.8%. Las aplicaciones de los productos probados mostraron un efecto significativo en el porcentaje de almendra con respecto al control. Este resultado es consistente con lo reportado por Smith (2012) y Wood (2011) (Cuadro 5). Varios autores indican que, en años de alto rendimiento, las nueces son pequeñas con cáscaras más gruesas y hay una disminución en el porcentaje de almendra (Balandrán-Valladares *et al.*, 2021; Morales, 2006; Smith, 2012; Wood *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

La aplicación de ácido giberélico (GA3-50 mg L⁻¹), prohexadiona de calcio (PCa-500 mg L⁻¹), thidiazuron (TDZ-10 mg L⁻¹) podría ser una estrategia para el manejo de la alternancia en árboles de nogal 'Western Schley'.

La aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento en árboles jóvenes de nogal 'Western Schley' minimizó la alternancia al mantener el número de frutos amarrados antes de la cosecha entre los años de evaluación con respecto al tratamiento de control.

Entre los años de evaluación, los datos obtenidos indican que la aplicación de bioreguladores de crecimiento afectó el rendimiento, sin embargo, el peso de la nuez por kilogramo fue similar con TDZ (5.6 y 5.7 g), mientras que el PCa fue el mejor tratamiento para ambas variables. Asimismo, se pudo observar una variación significativa en el índice de alternancia con respecto al control. Sin embargo, el porcentaje de almendra mostró el mejor comportamiento entre años y tratamientos con el uso de GA3 y PCa.

LITERATURA CITADA

- Ariza F., A. Barrios, G. Herrera, M. Barbosa, A. Michel, S. Otero, T. Alia (2015)** Phytohormones and bio-stimulants to flowering, production and quality of Mexican lime in winter. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 6:1653-1666, <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i7.557>
- Balandrán-Valladares M. I., O. Cruz-Álvarez, J. L. Jacobo-Cuellar, O. A. Hernández-Rodríguez, M. A. Flores-Córdova, R. A. Parra-Quezada, E. Sánchez-Chávez y D. L. Ojeda-Barrios (2021)** Changes in nutrient concentration and oxidative metabolism in pecan leaflets at different doses of zinc. *Plant, Soil and Environment* 67:33–39, <https://doi.org/10.17221/525/2020-PSE>
- Cano-Hernández R., M. T. Martínez-Damián, E. C. Moreno-Pérez, F. Sánchez-del Castillo, O. Cruz-Álvarez y M. J. Rodríguez-Roque (2019)** Effect of growth bioregulators on physicochemical quality indicators in tomato

fruits grown in greenhouse. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 115:120-133, <https://doi.org/10.12706/itea.2018.032>

Chao C. C. T. T., T. Khuong, Y. Zheng y C. J. Lovatt (2011) Response of evergreen perennial tree crops to gibberellic acid is crop load-dependent. I: GA3 increases the yield of commercially valuable 'Nules' Clementine Mandarin fruit only in the off-crop year of an alternate bearing orchard. *Scientia horticulturae* 130:743-752, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.036>

Einhorn T. C., M. S. Pasa y J. Turner (2014) 'D'Anjou' pear shoot growth and return bloom, but not fruit size, are reduced by prohexadione-calcium. *HortScience* 49:180-187, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.2.180>

Han Y., H. Yang y Y. Jiao (2014) Regulation of inflorescence architecture by cytokinins. *Frontiers in plant science* 5:669, <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00669>

Kumar P., S. K. Sharma, R. S. Chandel, J. Singh y A. Kumar (2016) Nutrient dynamics in pistachios (*Pistacia vera* L.): The effect of mode of nutrient supply on agronomic performance and alternate-bearing in dry temperate ecosystem. *Scientia Horticulturae* 210:108-121, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.018>

Martínez-Damián M. T., R. Cano-Hernández, E. C Moreno-Pérez, F. Sánchez-del-Castillo y O. Cruz-Álvarez (2019) Effect of preharvest growth bioregulators on physicochemical quality of saladette tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 25:29-43, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.013>

Morales M. C. (2006) Efecto del thidiazuron en el desarrollo y producción del nogal pecanero. *Agrofaz* 6:171-178, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2303546>

Nisler J., D. Kopečný, R. Končítíková, M. Zatloukal, V. Bazgier, K. Berka, D. Zalabák, P. Briozzo, M. Strnad y L. Spíchal (2016) Novel thidiazuron-derived inhibitors of cytokinin oxidase/dehydrogenase. *Plant molecular biology* 92:235-248, <https://doi.org/10.1007/s11103-016-0509-0>

Noperi-Mosqueda, L. C., J. M. Soto-Parra, E. Sánchez, E. Navarro-León, R. Pérez-Leal, M. A. Flores-Córdova, N. Salas-Salazar y R. M. Yáñez-Muñoz (2020). Yield, quality, alternate bearing and long-term yield index in pecan, as a response to mineral and organic nutrition. *Notulae Botanicae Horti*

<https://doi.org/10.15835/nbha48111725>

- Ojeda-Barrios D., E. Sánchez-Chávez, J. Sida-Arreola, R. Valdez-Cepeda y M. Balandran-Valladares (2016)** The impact of foliar nickel fertilization on urease activity in pecan trees. *Journal of soil science and plant nutrition* 16:237-247, <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000019>
- Pan B. Z., Y. Luo, L. Song, M. S. Chen, J. L. Li y Z. F. Xu (2016)** Thidiazuron increases fruit number in the biofuel plant *Jatropha curcas* by promoting pistil development. *Industrial Crops and Products* 81:202-210, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.054>
- Pasala R. K., P. S. Minhas y G. C. Wakchaure (2017)** Plant bioregulators: a stress mitigation strategy for resilient agriculture. In: Abiotic stress management for resilient agriculture. Minhas P., Rane J., Pasala R. (eds) Springer, Singapore. pp:235-259. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5744-1_10
- Pérez-Barraza M., V. Vázquez-Valdivia, J. Osuna-García y M. Urías-López (2009)** Increase on set and size of partenocarpic fruit in 'Ataulfo' mango with growth regulators. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:183-188, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.15.025>
- Pérez-Barraza M. H., T. Osuna-Enciso, E. Avitia-García, M. A. Gutiérrez-Espinosa, M. D. J. Santiago-Cruz, H. Ramírez y R. Cano-Medrano (2016)** Prohexadione calcium reduces vegetative growth and increases sprouting floral mango 'Ataulfo'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 7:263-276, <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.342>
- Pérez-Barraza M.H., T. Osuna-Enciso, M. A. Gutiérrez-Espinosa M. D. J. Santiago-Cruz, E. Avitia-García y R. Cano-Medrano (2015)** Thidiazuron and gibberellic acid on fruit set and growth of partenocarpic and polinized fruits of 'Ataulfo' mangos. *Interciencia* 40:677-683, <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/677-C-CANO-7.pdf>
- Rademacher W. (2015)** Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of plant growth regulation* 34:845-872, <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
- Randall J., A. Rascon, R. Heerema y M. Potter (2015)** Molecular mechanisms of pecan flower induction. *Acta Horticulturae* 1070:89-99, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1070.10>

- Rebolledo A. y M. A. Romero (2011)** Research advances on the productive behavior of avocado trees (*Persea americana* Mill.) under subtropical conditions. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuarias* 12:113-120, https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:220
- Rohla C. T., M. W. Smith, N. O. Maness y W. Reid (2007)** A comparison of return bloom and nonstructural carbohydrates, nitrogen, and potassium concentrations in moderate and severe alternate-bearing pecan cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 132:172-176, <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.2.172>
- Schmidt T., J. Mcferson, D. Elfving y M. Whiting (2009)** Practical gibberellic acid programs for mitigation of biennial bearing in apple. *Acta Horticulturae* 884:663-670, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.884.89>
- Sharma N., S. K. Singh, A. K. Mahato, H. Ravishankar, A. K. Dubey y N. K. Singh (2019)** Physiological and molecular basis of alternate bearing in perennial fruit crops. *Scientia horticulturae* 243:214-225. 26, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.021>
- Smith M. W. (2012)** Fruit production characteristics of 'Pawnee' pecan. *HortScience* 47:489-496, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.4.489>
- Viasus-Quintero G., J. Alvarez-Herrera y O. Alvarado-Sanabria (2013)** Effect of the application of gibberellins and 6-benzylaminopurine in the production and quality of strawberry. *Bioagro* 25:195-200, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85730395007> (in Spanish)
- Wood B. W. (2011)** Influence of plant bioregulators on pecan flowering and implications for regulation of pistillate flower initiation. *HortScience* 46:870-877, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.870>
- Wood B. W., P. J. Conner y R. E. Worley (2003)** Relationship of alternate bearing intensity in pecan to fruit and canopy characteristics. *HortScience* 38:361-366, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.3.361>
- Zuo X., D. Zhang, S. Wang, L. Xing, Y. Li, S. Fan, L. Zhang, J. Ma, C. Zhao, K. Shah, N. An y M. Han (2018)** Expression of genes in the potential regulatory pathways controlling alternate bearing in 'Fuji' (*Malus domestica* Borkh.) apple trees during flower induction. *Plant Physiology and Biochemistry* 32:579-589, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.003>

CAPÍTULO III: ¿LA APLICACIÓN DE BIOREGULADORES DE CRECIMIENTO MEJORA LA CONCENTRACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES, CARBOHIDRATOS NO ESTRUCTURALES Y RENDIMIENTO DEL NOGAL?

RESUMEN

El árbol de nuez es una especie de fruta de hoja caduca que exhibe un comportamiento de porte alternativo. En este estudio, se evaluó la concentración de nutrientes foliares, carbohidratos no estructurales y rendimiento en nogal pecanero variedad 'Western Schley' en respuesta a la aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento. En los ciclos agrícolas 2017 y 2018 se realizaron aplicaciones foliares de ácido giberélico (GA3-50 mg L⁻¹), prohexadiona de calcio (PCa-500 mg L⁻¹) y thidiazuron (TDZ-10 mg L⁻¹). El análisis estadístico revela que entre ciclos agrícolas los tratamientos no presentaron variación estadística en la concentración foliar de N-total, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ y carbohidratos no estructurales (fructosa, glucosa, sacarosa y almidón). Sin embargo, la aplicación de PCa no mostró un efecto significativo sobre la concentración de P (1,53 y 1,86 g kg⁻¹). Por otro lado, la concentración de Zn²⁺ (27,00-60,05 mg kg⁻¹) mostró una diferencia significativa entre años, sin efecto por la aplicación de bioreguladores de crecimiento. Los árboles tratados con GA3 minimizaron la alternancia al presentar valores similares (12,36 y 15,33 kg árbol⁻¹) en el rendimiento. Asimismo, los tratamientos aplicados no afectaron el peso de la nuez por kg (5.53-6.83 g) y el porcentaje de almendra (56.48-60.83). Estos datos brindan una nueva perspectiva sobre la naturaleza compleja de la producción alterna en 'Western Schley' y se interpretan para indicar que la alternancia podría estar regulada por la reserva de carbohidratos, la concentración de nutrientes y las giberelinas.

PALABRAS CLAVES: ácido giberélico; carbohidratos no estructurales; *Carya illinoensis*, nutrientes foliares; prohexadiona de calcio; thidiazuron

ABSTRACT

The pecan tree is a deciduous fruit species that exhibits alternate bearing behavior. In this study, the concentration of foliar nutrients, non-structural carbohydrates and yield were evaluated in cultivar 'Western Schley' pecan in response to the foliar application of growth bioregulators. In the 2017 and 2018 agricultural cycles, foliar applications of gibberellic acid (GA3-50 mg L⁻¹), prohexadione calcium (PCa-500 mg L⁻¹) and thidiazuron (TDZ-10 mg L⁻¹) were made. The statistical analysis reveals that between agricultural cycles the treatments did not present statistical variation in the foliar concentration of N-total, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺ and non-structural carbohydrates (fructose, glucose, sucrose and starch). However, the application of PCa did not show a significant effect on the concentration of P (1.53 and 1.86 g kg⁻¹). On the other hand, the concentration of Zn²⁺ (27.00-60.05 mg kg⁻¹) showed a significant difference between years, with no effect due to the application of growth bioregulators. The trees treated with GA3 minimized alternate bearing by presenting similar values (12.36 and 15.33 kg tree⁻¹) of yield. Likewise, the applied treatments did not affect the nut weight per kg (5.53-6.83 g) and kernel percentage (56.48-60.83). These data provide a new perspective on the complex nature of alternate bearing production in cultivar 'Western Schley' pecan and are interpreted to indicate that alternate production could be regulated by carbohydrate reserve, nutrient concentration, and gibberellins.

KEY WORDS: *Carya illinoensis*, foliar nutrients, gibberellic acid, non-structural carbohydrates, prohexadione calcium, thidiazuron

INTRODUCCIÓN

El nogal [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.] es un cultivo caducifolio de alta rentabilidad y valor nutricional (Wood, 2011). Entre las variedades con mayor área plantada se encuentran 'Pawnee', 'Western Schley', 'Wichita' y 'Stuart' (Ojeda-Barrios *et al.*, 2009; Wells, 2014). De manera similar a otros árboles frutales, el nogal pecanero presenta alternancia la cual afecta el rendimiento y la calidad de la nuez cosechada (Smith *et al.*, 2012). Además, representa una reducción significativa en los ingresos de productores y comercializadores (Castillo-González

et al., 2019). Sin embargo, la alternancia es un proceso fisiológico natural de supervivencia que presentan los árboles para regular sus reservas y mantener la producción de frutos (Wood, 2014).

El aporte óptimo de nutrientes incide en la síntesis, acumulación de carbohidratos, también mejora el rendimiento y la calidad del fruto seco (Baladrán-Valladares *et al.*, 2021). Los programas de fertilización en nogal suelen considerar al nitrógeno (N) y zinc (Zn^{2+}) como los dos nutrientes más importantes en la producción comercial de este fruto caducifolio (Castillo-González *et al.*, 2019). En particular, el N está directamente asociado con la conformación del dosel de los árboles (Smith *et al.*, 2012). Por otro lado, el Zn^{2+} está involucrado en el alargamiento de brotes, síntesis de clorofila y juega un papel destacado en el metabolismo del árbol de nogal, ya que forma parte de las enzimas oxidoreductasa, liasa, isomerasa, transferasa, hidrolasas y ligasas (Castillo-González *et al.*, 2018; Ojeda-Barrios *et al.*, 2009; Smith & Cheary, 2013).

La alternancia es un proceso multifactorial asociado con la reserva de carbohidratos y la floración, que a su vez está regulada por factores fisiológicos, bioquímicos, ambientales y genéticos (Sharma *et al.*, 2019). Los carbohidratos de reserva en el árbol son importantes en la inducción de flores y es el primer requisito a considerar en el manejo agronómico para minimizar la alternancia (Wood, 2014). Estas macromoléculas se clasifican en estructurales (lignina y celulosa) y no estructurales (glucosa, fructosa, sacarosa y almidón), que forman los tejidos, proporcionan energía química para las reacciones metabólicas y como reservas a largo plazo (Pérez-Barraza *et al.*, 2017). El almidón se acumula en las raíces durante el período de latencia para ser una fuente de energía durante el crecimiento vegetativo, la brotación y la floración (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019).

Entre las estrategias de manejo agronómico para aguacate (*Persea americana* L.), cítricos (*Citrus volkameriana* L.), cereza (*Prunus cerasus* L.), mango (*Mangifera indica* L.), manzana (*Malus domestica* Borkh), se utiliza ácido giberélico (GA3), prohexadiona de calcio (PCa) y thidiazuron (TDZ) para minimizar el efecto negativo de la alternancia (Pérez-Barraza *et al.*, 2017; Wood, 2011). La aplicación exógena de bioreguladores de crecimiento en bajas concentraciones promueve, inhibe o

modifica el comportamiento morfológico y fisiológico de las plantas (Tejacal *et al.*, 2020). Es común clasificarlos según los procesos fisiológicos a los que se asocian y su respuesta cuando se aplican (Martínez-Damián *et al.*, 2019).

Se ha demostrado que la aplicación de GA3 promueve el crecimiento de los brotes e incide en la inducción de flores (Wood, 2011). Además, aumenta el amarre de frutos (Pérez-Barraza *et al.*, 2017). El PCa (3-óxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexeno-carboxilato) es un producto químico que cuando se aplica por vía foliar en mango (*Mangifera indica* L.), manzana (*Malus domestica* Borkh) y pera (*Pyrus communis* L.), inhibe la síntesis de giberelinas en los ápices, reduciendo así su crecimiento (retardador del crecimiento) (Rehman *et al.*, 2018). TDZ [1-fenil-3- (1, 2, 3 tiazol-5-il) urea] se clasifica dentro del grupo de las citoquininas y su aplicación está asociada con la división celular (Pasa *et al.*, 2017). Este bioregulador juega un papel importante en la inducción de flores y además aumenta el tamaño y número de frutos (Pérez-Barraza *et al.*, 2017). Existe poca información asociada con el manejo agronómico de alternancia en el nogal a través de la aplicación de productos químicos que se han encontrado beneficiosos en otros árboles frutales. El objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración de nutrientes foliares, carbohidratos no estructurales y rendimiento en el nogal pecanero variedad 'Western Schley' como respuesta a la aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y manejo experimental del huerto

La investigación se realizó por dos años consecutivos (2017-2018) en un huerto ubicado en México (28 ° 57'1.44 "N, 106 ° 14'2.73" W), una altitud de 1440 msnm, precipitación y temperatura promedio anual de 366,5 mm y 17,8 ° C, respectivamente. El suelo se caracterizó por presentar una textura miga-arenosa con 0,95% de materia orgánica, pH (7,6), 10,69% de carbonato y conductividad eléctrica de 2,5 dS m⁻¹. El análisis químico proporcionado indica una composición (mg kg⁻¹) de 18 N-Total, 8 P, 275 K⁺, 5.406 Ca²⁺, 320 Mg²⁺, 139 Fe²⁺, 180 Mn²⁺, 13 Zn²⁺ y 4 Cu²⁺. Se utilizaron arboles de nogal pecanero 'Western Schley' en

portainjertos nativos con 9 años de edad y se sembraron a 6 x 12 m (139 árboles ha⁻¹).

En la primera semana de marzo de cada año de evaluación, la fertilización se realizó utilizando la fórmula general de 150-100-100 de N, P y K en forma de (NH₄)₂SO₄ (20.5% N y 24% S), H₃PO₄ (49% P₂O₅) y K₂SO₄ (50% K₂O). Asimismo, cuando los árboles mostraron un 80% de brotación, se realizaron seis aplicaciones de Zn²⁺ (17% ZnNO₃) con GoZinc 17[®] (Gowan[®] México). El riego se aplicó por microaspersión con una hoja total de aproximadamente 16.800 m³ ha⁻¹ por ciclo vegetativo. El daño causado por el gusano barrenador (*Acrobasis nuxvorella* Neunzig) fue controlado químicamente con la aplicación de 0.5 L ha⁻¹ de Intrepid[™] (Dow AgroSciences[®], USA). El control de malezas se realizó manualmente.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones, donde la unidad experimental consistió en un árbol con una altura promedio y perímetro de tronco de 8 ± 1 m y 63 ± 2 cm, respectivamente. Los tratamientos fueron T1: 50 mg L⁻¹ GA3 (ProGibb[®], Bayer Crop Science, EE. UU.), T2: 500 mg L⁻¹ PCa (Apogee[®], BASF, EE. UU.) T3: 10 mg L⁻¹ TDZ (Revent[®] 500 SC, Bayer Crop Science, EE. UU.); T4: Control (agua). Se aplicó como penetrante 1 ml L⁻¹ de surfactante (INEX-A[™], Cosmocel, México) y urea foliar al 1%. El pH se ajustó a 5,8 con ácido fosfórico (Sigma-Aldrich[®], EE. UU.). Los tratamientos se aplicaron a los 0, 56,70 y 84 días después de la floración durante dos años (2017-2018).

Nutrientes foliares

Se seleccionaron 40 pares de folíolos con ausencia de daño mecánico, plagas y enfermedades, ubicados en la parte media de la copa del árbol y en los cuatro puntos cardinales. Los folíolos se lavaron con una solución de detergente sin fosfato al 0,1%, se aclararon con agua desionizada y se secaron a 80°C durante 72 h en un horno Heratherm[™] VCA 230 (Thermo Scientific[™], USA). Las muestras se homogeneizaron en un molino (Wiley[®], EE. UU.) Con una malla de 1 mm (Balandran-Valladares *et al.*, 2021). La concentración de N-total se determinó

mediante el método Kjeldhal (Novatech[®], USA y Micro Kjeldahl Labconco[®], USA), (Lanza *et al.*, 2016). La determinación de la concentración de P se realizó mediante el método de metavanadato de amonio (NH₄VO₃) y mediante espectrofotometría (Thermo Scientific[™], EE. UU.). Se tomó 1 g de la muestra seca y se determinó la concentración de K⁺, Ca²⁺, Mn²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺ y Zn²⁺ por digestión triácida (HNO₃, HClO₄ y H₂SO₄) (25 mL de la mezcla en una relación 10:10:25). Las cuantificaciones de analitos se realizaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 100[®] (PerkinElmer[®], EE. UU.). Los resultados se expresaron en g kg⁻¹ y mg kg⁻¹ para macro y micronutrientes, respectivamente (Fernández-Valencio y Sánchez-Chávez, 2017).

Cuantificación de carbohidratos no estructurales

La determinación de glucosa, fructosa, sacarosa y almidón en folíolos (carbohidratos no estructurales) se realizó según el método descrito por Sánchez *et al.* (2005). Se recolectaron 20 folíolos en los que se consideraron los puntos cardinales. Se tomó una muestra de 0.5 g de tejido fresco y se homogeneizó dos veces, la primera con 5 mL de etanol al 95% (v:v) y la segunda con etanol al 70% (v:v). La mezcla se centrifugó a 5500 g durante 10 min a 4 °C. Se tomaron 0,1 mL del sobrenadante y se agregaron 3 mL de solución de antrona (100 mg de antrona disueltos en 100 mL de H₂SO₄ al 70%). La mezcla se colocó en un baño de agua durante 10 min y después del tiempo necesario para enfriar, se tomó el valor de absorbancia a 650 nm con un espectrofotómetro UV-vis Evolution 201 (Thermo Scientific[™], EE. UU.). Para la determinación del almidón se tomó el residuo seco de la extracción y se incubó en tampón acetato (4.5 M), α-glucoamilasa al 0.5% (p:v) y agua a 37 °C por 48 h. Los resultados se expresaron en mg g⁻¹ de peso fresco (FW).

Rendimiento y calidad de la nuez

La cosecha para cada año de evaluación (2017 y 2018) se realizó en la tercera semana de noviembre, donde cada unidad experimental fue vibrada mecánicamente, las nueces fueron recolectadas y pesadas con una balanza Combo-Rhino-122 (Rhino[®], México) con una sensibilidad de 0.1 g, esto para

obtener el rendimiento en kg árbol⁻¹. El peso de la nuez por kilogramo y el porcentaje de almendra se determinaron de acuerdo a lo que indica la Norma Mexicana NMX-FF-084-SCFI-2009. Se obtuvo el peso promedio de nueces por kilogramo, para lo cual se tomó un kg para contar el número de nueces. Para obtener el porcentaje de almendra se seleccionaron 300 g de nueces por unidad experimental, se separó la cáscara del grano (parte comestible) y se obtuvo el peso con una balanza electrónica portátil Scout ProSP202 (Ohaus®, EE. UU.) Con una sensibilidad de 0,01 g. El cálculo del porcentaje de almendra se obtuvo como el cociente entre el peso y el valor inicial de la muestra (300 g) multiplicado por 100.

Análisis estadístico

Previamente al análisis estadístico, los datos fueron sometidos a la prueba de Shapiro-Wilk ($P \leq 0.05$) para verificar su distribución normal. El análisis estadístico se realizó mediante un GLM con los efectos del tratamiento y año. En todos los casos se utilizó el software de análisis estadístico (SAS / STAT) versión 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nutrientes foliares

Los programas de fertilización del nogal consideran al N-total y Zn²⁺ como los nutrientes más importantes para la producción comercial de este frutal caducifolio (Balandrán-Valladares *et al.*, 2021). La aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento mostró interacción significativa ($P \leq 0.05$) entre años y tratamientos en la concentración de nutrientes en los folíolos (Cuadro 6 y 7, Figura 3 y 4). Los árboles tratados con GA3, PCa y TDZ mantuvieron estable la concentración foliar de N-total, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺ y Mn²⁺, además, el PCa afectó a P. La concentración foliar de N-total, P, K⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺ y Mn²⁺ se encuentran en rangos normales (Pond *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 2012), con la excepción de Ca²⁺ (26,91-34,10 g kg⁻¹), que puede considerarse alto según Pond *et al.* (2006). Estos resultados podrían estar relacionados con el suelo calcáreo donde se planta el huerto.

Cuadro 5: Concentración de macronutrientes en folíolos de nogal ‘Western Schley’ con aplicación de bioreguladores de crecimiento.

T (mg L ⁻¹) 1)	Macronutrients (g kg ⁻¹)									
	N-total		P		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
GA3 (50)	19.93a	18.16a	1.16a	1.83b	10.91a	10.52a	34.10a	31.90a	3.25a	3.46a
PCa (100)	23.90a	24.70a	1.53a	1.86a	11.30a	10.21a	31.66a	31.80a	3.06a	3.20a
TDZ (500)	26.20a	24.10a	1.73a	2.56b	11.40a	11.93a	31.16a	32.36a	3.16a	3.09a
Control	19.06a	14.20b	1.70a	1.70a	8.98a	8.78a	26.93a	26.91a	2.94a	3.08a

T - tratamientos, GA3 - ácido giberélico, PCa - prohexadiona de calcio y TDZ - thidiazuron. Los valores con las letras diferentes entre filas representan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

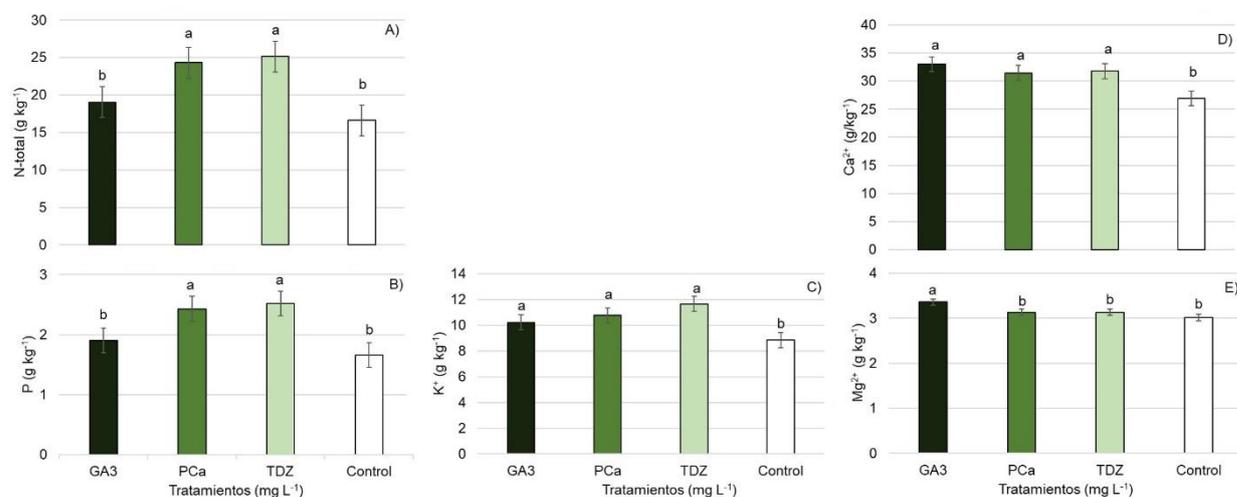


Figura 3: Concentración de N-total (A), P (B), K⁺ (C), Ca²⁺ (D) y Mg²⁺ (E) en nogales ‘Western Schley’ con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento. Los datos corresponden a la media obtenida por tratamiento (2017 y 2018). GA3 - ácido giberélico (50 mg L⁻¹), PCa - prohexadiona de calcio (500 mg L⁻¹), TDZ - thidiazuron (10 mg L⁻¹) y control. Las barras con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las barras de error representan desviaciones estándar ($n = 5$).

Cuadro 6: Concentración de micronutrientes en folíolos de nogal 'Western Schley' con aplicación de bio reguladores de crecimiento.

T (mg L ⁻¹)	Micronutrients (mg kg ⁻¹)							
	Fe ²⁺		Cu ²⁺		Mn ²⁺		Zn ²⁺	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
GA3	134.66	135.00	5.90	6.36	229.66	232.00	58.55	35.69
(50)	a	a	a	a	a	a	a	b
PCa	138.00	141.66	5.96	6.16	236.33	234.33	38.33	27.00
(100)	a	a	a	a	a	a	a	b
TDZ	151.66	147.33	6.83	6.23	244.66	234.33	60.03	29.33
(500)	a	a	a	a	a	a	a	b
Contro	120.50	107.67	5.66	5.28	217.00	205.66	36.83	29.00
I	a	a	a	a	a	a	a	b

T - tratamientos, GA3 - ácido giberélico, PCa – prohexadiona de calcio y TDZ - thidiazuron. Los valores con las letras diferentes entre filas representan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

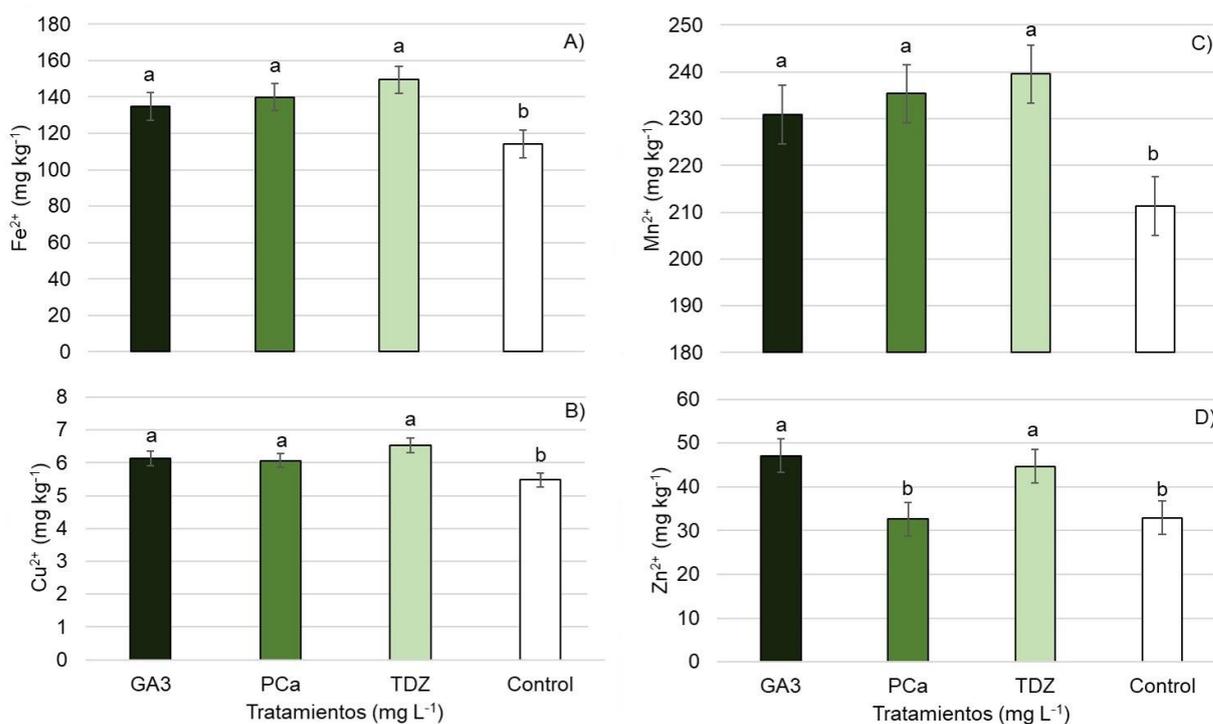


Figura 4: Concentración de Fe²⁺ (A), Cu²⁺ (B), Mn²⁺ (C) y Zn²⁺ (D) en nogales 'Western Schley' con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento. Los datos corresponden a la media obtenida por tratamiento (2017 y 2018). GA3 - ácido giberélico (50 mg L⁻¹), PCa - prohexadiona de calcio (500 mg L⁻¹), TDZ - thidiazuron (10 mg L⁻¹) y control. Las barras con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Las barras de error representan desviaciones estándar (n = 5).

Por otro lado, entre las peculiaridades del nogal se encuentra su alto requerimiento de Zn²⁺ durante la etapa de crecimiento del brote (Hounnou *et al.*, 2019). La aplicación de bioreguladores no mostró un comportamiento estable con respecto a la concentración de Zn²⁺ cuyos valores fluctuaron entre 27,00 y 60,03 mg kg⁻¹ entre los años de evaluación. Sin embargo, estos valores se encuentran en el rango de suficiencia según Castillo-González *et al.* (2019). En otras especies como durazno (*Prunus persica* L.) 'Peento'. Al-Rawi *et al.* (2016) reportan un aumento en la concentración foliar de N-total y P, sin embargo, no observaron cambios significativos para Zn²⁺ al evaluar la aplicación de 100 mg L⁻¹ de GA3 durante dos años. Se reporta un comportamiento similar en el cultivo de olivo (*Olea europaea* L.) 'Ashrasi' con aplicaciones de GA3 (100 y 200 mg L⁻¹) (Soliemanzadeh y Mozafari, 2014). Por otro lado, estudios previos realizados en limón (*Citrus*

volkameriana L.) 'Volkamer' (Tsagkarakis y Rogers, 2012) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) 'Raptor-F1' (Ramírez *et al.*, 2018) indican que hubo ningún efecto sobre la concentración de N-total, P, Zn²⁺ con la aplicación de 0,73 g L⁻¹ y 50 mg L⁻¹ de PCa, respectivamente.

Carbohidratos no estructurales en folíolos

Los carbohidratos juegan un papel importante en el desarrollo y crecimiento de las plantas porque forman parte de su estructura morfológica y son la principal fuente de energía metabólica (Valenzuela-Núñez *et al.*, 2019). En este estudio, la aplicación de GA3, PCa y TDZ mantuvo la concentración de carbohidratos no estructurales entre los años de evaluación (Cuadro 8). En contraste, Wood (2014) al evaluar exudados de xilema en años de alto y bajo rendimiento en nogal pecanero variedad Cheyenne, reporta una variación en la concentración de sacarosa entre años con valores de 8.70 y 0.438 mM respectivamente, lo que se atribuye a la alternancia. Por su parte, Al-Rawi *et al.* (2016) al evaluar la aplicación de GA3 a 50 y 100 mg L⁻¹ en durazno (*Prunus persica* L.) variedad 'Peento' reportó un aumento en la concentración de carbohidratos en hojas. Mientras que, entre tratamientos, no se pudo detectar ningún efecto sobre la concentración de parámetros (Figura 5). La variación entre los resultados se puede asociar con el método analítico utilizado, el tamaño de la muestra y el órgano evaluado (Wood, 2014).

Cuadro 7: Concentración de carbohidratos no estructurales en folíolos de nogal pecanero ‘Western Schley’ tratados con bioreguladores de crecimiento.

T (mg L ⁻¹)	Non-structural carbohydrates (mg g ⁻¹)							
	Fructosa		Glucosa		Sacarosa		Almidón	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
GA3 (50)	36.14a	41.80a	39.96a	46.22a	39.87a	45.92a	38.44a	39.92a
PCa (500)	37.65a	38.55a	41.63a	42.63a	34.79a	42.18a	31.75a	40.31a
TDZ (10)	42.39a	37.95a	46.88a	41.96a	37.67a	40.77a	34.28a	40.94a
Control	40.88a	29.46b	45.21a	32.57b	33.50a	43.53b	30.58a	41.25b

T - tratamientos, GA3 – ácido giberélico, PCa – prohexadiona de calcio y TDZ - thidiazuron. Valores con letras diferentes entre filas representan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

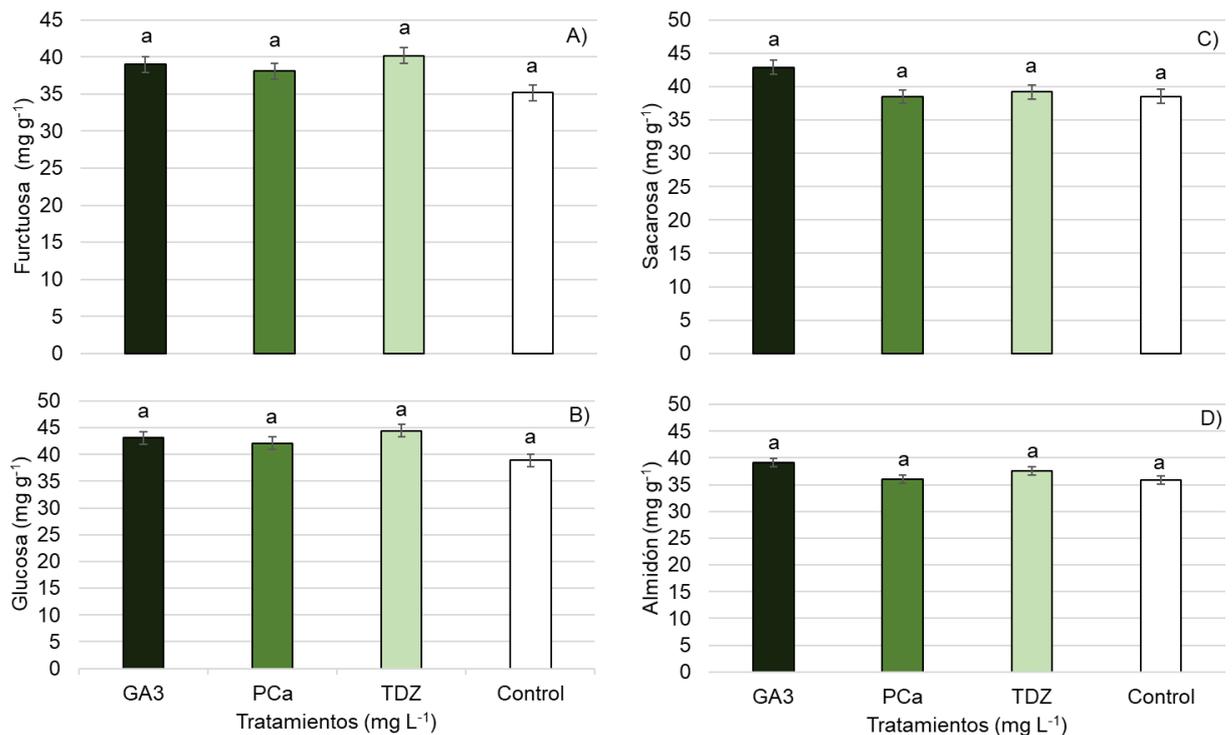


Figura 5: Concentración de fructosa (A), glucosa (B), sacarosa (C) y almidón (D) en árboles de nogal pecanero ‘Western Schley’ con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento. Los datos corresponden a la media obtenida por tratamiento (2017 y 2018). GA3 - ácido giberélico (50 mg L⁻¹), PCa - prohexadiona de calcio (500 mg L⁻¹), TDZ - thidiazuron (10 mg L⁻¹) y control. Las barras con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las barras de error representan desviaciones estándar ($n = 5$).

Rendimiento y calidad de la nuez

El alto valor económico y la demanda comercial de la nuez han favorecido un aumento de la superficie plantada; sin embargo, los árboles de nuez muestran un comportamiento alterno lo que afecta el rendimiento y la calidad del producto cosechado (Wells, 2014). En este estudio, los valores de rendimiento se encontraron en un rango entre 7,10 y 17,00 kg árbol⁻¹, donde el tratamiento con GA3 (12,36 y 15,33 kg árbol⁻¹) mostró la menor fluctuación entre años (Cuadro 9). Este comportamiento ayuda a comprender la importancia fisiológica de mantener la concentración foliar de nutrientes y carbohidratos no estructurales con la aplicación de GA3 en el nogal pecanero. Este resultado coincide con Wood (2011),

quien informa que el uso de GA3 puede ser eficaz para minimizar la alternancia. El análisis entre tratamientos indicó que los árboles tratados con GA3 y TDZ presentaron el mayor rendimiento promedio con valores de 13.85 y 14.00 kg árbol⁻¹, respectivamente (Figura 6A). Estudios previos indican que la aplicación de TDZ y PCa en el cultivar de pera (*Pyrus communis* L.) 'Le Conte' (Carra *et al.*, 2016) y en el cultivar de aguacate (*Persea americana* L.) 'Hass' (Brogio *et al.*, 2018) aumentan el rendimiento. sin embargo, su efecto puede modificarse mediante manejo agronómico. Si se comparan los datos de rendimiento con los obtenidos por Wood (2014) (5.49-71.46 kg árbol⁻¹), se observa una variación significativa, sin embargo, esto se puede relacionar con la alternancia, edad del árbol, manejo agronómico y plantación de densidad (Castillo-González *et al.*, 2019).

El peso de la nuez mostró una variación interanual significativa, sin embargo, no hubo diferencia entre tratamientos. Asimismo, entre los años de evaluación y los tratamientos aplicados, no se encontró efecto en el porcentaje de almendra de las nueces cosechadas (Cuadro 9 y Figura 6B y 6C). En este sentido, la acumulación de reservas tiene un efecto directo en la calidad de la nuez, que a su vez está asociada a factores genéticos, edafoclimáticos y agronómicos (Sharma *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2012). Nuestros datos indican que la calidad de la nuez es un parámetro que no se puede modificar fácilmente aplicando bioreguladores. Por el contrario, cuando se pulverizan GA3, PCa y TDZ en aguacate (*Persea americana* L.) 'Hass' (Garner *et al.*, 2011) y en pera (*Pyrus communis* L.) 'Blanquilla' y 'Hosui' (Lordan *et al.*, 2019; Pasa *et al.*, 2017) reportan un aumento en la firmeza, tamaño y concentración de sólidos solubles totales en frutos cosechados. Por otro lado, la calidad de nuez obtenida en este trabajo es apta para exportación (calidad I) según la Norma Mexicana FF-084 SCFI-2009.

Cuadro 8: Aplicación de bioreguladores de crecimiento en nogal pecanero 'Western Schley' y su efecto interanual sobre el rendimiento y la calidad de la nuez.

T (mg L ⁻¹)	Rendimiento (kg árbol ⁻¹)		Calidad de nuez			
			Peso de nuez por kg (g)		(% Almendra	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
GA3 (50)	12.36a	15.33a	5.63a	6.44b	60.38a	58.52a
PCa (500)	14.60a	7.10b	5.53a	6.54b	58.53a	56.48a
TDZ (10)	11.00a	17.00b	5.73a	6.83b	60.26a	59.56a
Control	14.66a	8.90b	5.69a	6.33a	59.56a	60.00a

T - tratamientos, GA3 - ácido giberélico, PCa - prohexadiona de calcio y TDZ - thidiazuron. Los valores con las letras diferentes entre filas representan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

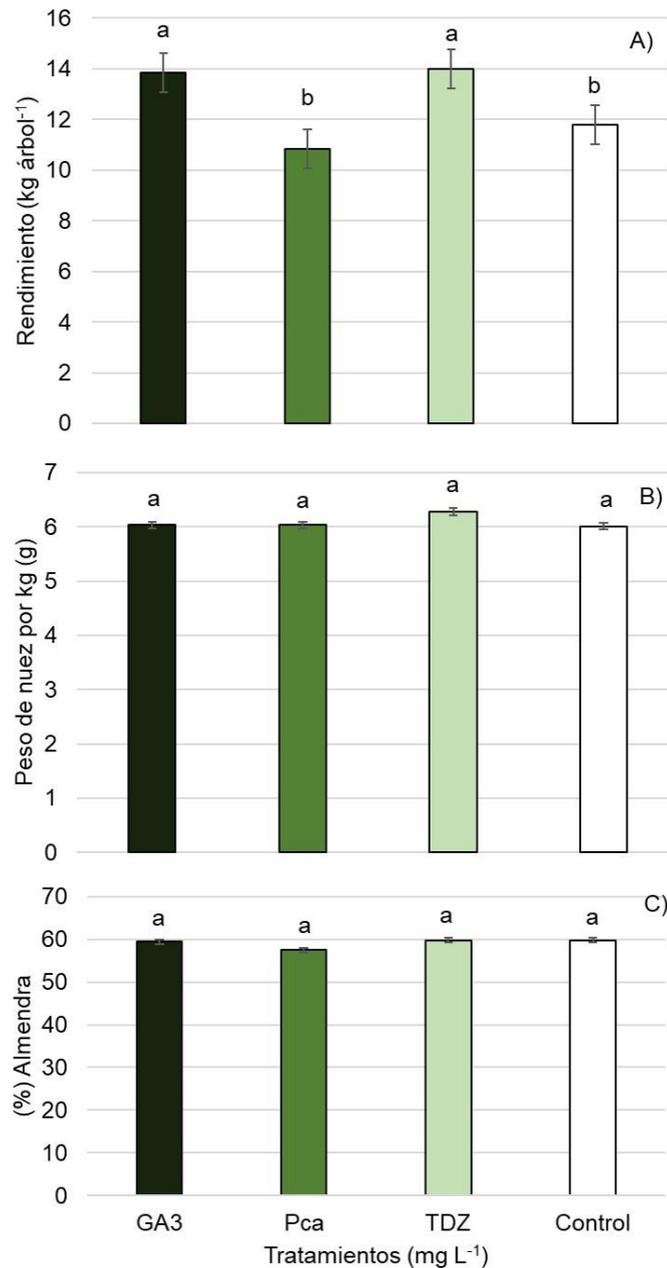


Figura 6: Rendimiento (A), peso de nuez (B) y porcentaje de almendra (C) en árboles de nogal pecanero ‘Western Schley’ con la aplicación de tratamientos foliares de bioreguladores de crecimiento. Los datos corresponden a la media obtenida por tratamiento (2017 y 2018). GA3 - ácido giberélico (50 mg L⁻¹), PCa – prohexadiona de calcio (500 mg L⁻¹), TDZ - thidiazuron (10 mg L⁻¹) y control. Las barras con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las barras de error representan desviaciones estándar ($n = 5$).

CONCLUSIONES

En este estudio, la aplicación de GA3 mantuvo los valores de rendimiento (12,36 y 15,33 kg árbol⁻¹), minimizando la alternancia, donde el PCa mostró la mayor fluctuación. Sin embargo, el peso de la nuez por kilogramo y el porcentaje de almendra no se vieron afectados por los tratamientos aplicados. Por otro lado, la aplicación de GA3, PCa y TDZ mostró un efecto similar sobre la concentración foliar de sacarosa, almidón y N-total, sin embargo, el P solo mostró un efecto positivo (1,53 y 1,86 g kg⁻¹) con el PCa. Sin embargo, la concentración foliar de Zn²⁺ mostró variación entre años, sin efecto debido a la aplicación de bioreguladores. De acuerdo con nuestros resultados, la aplicación de GA3 podría considerarse como parte del manejo agronómico para minimizar la alternancia en arboles de nogal variedad 'Western Schley'.

LITERATURA CITADA

- Al-Rawi, W. A. A., M. E. A. Al-Hadethi y A. A. Abdul-Kareem (2016)** Effect of foliar application of gibberellic acid and seaweed extract spray on growth and leaf mineral content on peach trees. *The Iraqi Journal of Agricultural Sciences* 47:98-105, <https://www.iasj.net/iasj?func=article&ald=127474>
- Balandrán-Valladares M. I., O. Cruz-Álvarez, J. L. Jacobo-Cuellar, O. A. Hernández-Rodríguez, M. A. Flores-Córdova, R. A. Parra-Quezada, E. Sánchez-Chávez y D. L. Ojeda-Barrios (2021)** Changes in nutrient concentration and oxidative metabolism in pecan leaflets at different doses of zinc. *Plant, Soil and Environment* 67:33–39, <https://doi.org/10.17221/525/2020-PSE>
- Brogio, B. D. A., S. R. D. Silva, T. Cantuarias-Avilés, S. F. Angolini, E. G. Baptista y R. V. Ribeiro (2018)** Influence of gibberellin inhibitors applied during flowering of nonirrigated'Hass' avocado trees. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 53:918-923, <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000800006>
- Carra, B., M. S. Pasa, J. C. Fachinello, D. Spagnol, E. S. Abreu y M. A Giovanaz (2016)** Prohexadione calcium affects shoot growth, but not yield components, of 'Le Conte'pear in warm-winter climate conditions. *Scientia Horticulturae* 209:241-24, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.036>

- Castillo-González, J., D. Ojeda-Barrios, A. Hernández-Rodríguez, A. C. González-Franco, L. Robles-Hernández y G. R. López-Ochoa (2018)** Zinc metalloenzymes in plants. *Interciencia* 43:242-248, <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/05/242-6131-OJEDA-43-04.pdf>
- Castillo-González, J., D., Ojeda-Barrios, A. Hernández-Rodríguez, J. Abadía, E. Sánchez, R., Parra-Quezada... y J. P. Sida-Arreola (2019)** Zinc Nutritional Status of Pecan Trees Influences Physiological and Nutritional Indicators, the Metabolism of Oxidative Stress, and Yield and Fruit Quality. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(2) <https://doi/10.15835/nbha47211389>
- Fernández-Valenciano, A. F. y E. Sánchez-Chávez (2017)** Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova scientia* 9:133-148, <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.763>
- Garner L., G. Klein, Y. Zheng, T. Khuong y C. J. Lovatt (2011)** Response of evergreen perennial tree crops to gibberellic acid is crop load-dependent: II. GA3 increases yield and fruit size of 'Hass' avocado only in the on-crop year of an alternate bearing orchard. *Scientia horticulturae* 130:753-761, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.033>
- Hounnou L., B. Wade-Brorsen, J. T. Biermacher y C. T. Rohla (2019)** Foliar applied zinc and the performance of pecan trees. *Journal of Plant Nutrition* 42:512-516, <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1567771>
- Lanza J. G., P. C. Churión y N. Gómez (2016)** Comparison between kjeldahl traditional method and automated dumas (N Cube) method for determination of proteins in several kinds of food. *Saber* 28:245-249, http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000200007&lng=es&tlng=pt.
- Lordan J., P. Vilardell, M. Peris, E. Torres, S. Alegre y L. Asín (2019)** Post petal fall applications of gibberellins improve fruit set on pear. *Scientia Horticulturae* 252:149-155, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.031>
- Martínez-Damián M. T., R. Cano-Hernández, E. D. C. Moreno-Pérez, F. Sánchez-del Castillo y O. Cruz-Álvarez (2019)** Efecto de bioreguladores del crecimiento en precosecha sobre la calidad fisicoquímica de tomate saladette.

Revista Chapingo Serie Horticultura 25:29-43,
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.013>

Ojeda-Barrios D. L., O. A. Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez, A. Núñez-Barrios y E. Perea-Portillo (2009) Foliar application of zinc chelates on pecan. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:205-210,
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.562>

Pasa M. S., C. P. Silva, B. Carra, A. F. Brighenti, A. L. K. Souza y J. L. Petri (2017) Thidiazuron (TDZ) increases fruit set and yield of 'Hosui' and 'Packham's Triumph' pear trees. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 89:3103-3110, <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170644>

Pérez-Barraza M. H., R. Cano-Medrano, E. Avitia-García, M. A. Gutiérrez-Espinosa, Y. Nolasco-González y T. Osuna-Enciso (2017) Mango growth regulators: their relation ship with carbohydrates number and size of cells. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:3855-3868,
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.655>

Ramírez H., A., López-Fabian, E. Peña-Cervantes, M. G. Zavala-Ramírez y A. Zermeño-González (2018) P-Ca, AG4/7 and 6-BAP in the physiology and nutrition of tomato in the greenhouse. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola* 9:747-759, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1392>

Rehman M., Z. Singh y T. Khurshid (2018) Pre-harvest spray application of prohexadione-calcium and paclobutrazol improves rind colour and regulates fruit quality in M7 Navel oranges. *Scientia Horticulturae* 234:87-94,
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.018>

Sánchez E., J. M. Soto, A. Núñez, J. M. Ruiz y L. Romero (2005) Biosynthesis of non-structural carbohydrates and their distribution in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Strike): deficiency vs toxicity of nitrogen. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:55-61,
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61028108>

SEECO, Secretaría de Economía (2009) Norma Oficial Mexicana NMX-FF-084-SCFI-2009. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruto fresco -nuez pecanera *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch-especificaciones y métodos de prueba. <http://www.comenuz.com/assets/nmx-ff-084-scfi-2009.pdf> (Enero 2019)

- Sharma N., S. K. Singh, A. K. Mahato, H. Ravishankar, A. K. Dubey y N. K. Singh (2019)** Physiological and molecular basis of alternate bearing in perennial fruit crops. *Scientia Horticulturae* 243:214-225, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.021>
- Smith M. W. y B. S. Cheary (2013)** Response of pecan to annual soil band applications of phosphorus and potassium. *HortScience* 48:1411-1415, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.11.1411>
- Smith M. W., C. T. Rohla and W. D. Goff (2012)** Pecan leaf elemental sufficiency ranges and fertilizer recommendations. *HortTechnology* 22:594-59, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.22.5.594>
- Solimanmanzadeh A. y V. Mozafari (2014)** Response of pistachio trees to alternate bearing and foliar application of zinc and iron. *International Journal of Fruit Science* 14:174-187, <https://doi.org/10.1080/15538362.2013.818376>
- Tejacal I. A., G. Vargas-Domínguez, V. López-Martínez, L. A. Valdés-Aguilar, P. Juárez-López, D. Guillen-Sánchez, G. A. Pérez-Arias y M. T. Colinas-León, (2020)** Reguladores de crecimiento en la calidad de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch). *Acta Agrícola y Pecuaria* 6:E0061010, <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061010>
- Tsagkarakis A.E., M. E. Rogers y T. M. Spann (2012)** Applications of plant growth regulators to container-grown citrus trees affect the biology and behavior of the Asian citrus psyllid. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 137:3-10, <https://doi.org/10.21273/JASHS.137.1.3>
- Valenzuela-Núñez L.M., E. A. Briceño-Contreras, J. R. Esparza-Rivera, G., Rodríguez-Bautista y J. A. Núñez-Colima (2019)** Seasonal changes in soluble sugar concentration in pecan perennial organs (*Carya illinoensis* [Wangenh.] Koch). *Acta Universitaria* 29:e2423, <https://doi.org/10.15174/au.2019.22423>
- Wells L. (2014)** Pecan planting trends in Georgia. *HortTechnology* 24:475-479, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.24.4.475>
- Wood B. W. (2011)** Influence of plant bioregulators on pecan flowering and implications for regulation of pistillate flower initiation. *HortScience* 46:870-877, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.870>

Wood B. W. (2014) Flow volume and carbohydrate composition of late winter xylem sap influences subsequent crop load in pecan. *HortScience* 49:886-890, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.7.886>

CONCLUSIONES GENERALES

La aplicación de PBZ en frutales reduce el crecimiento e induce floración y por consecuencia incrementa el rendimiento. Sin embargo, en algunos países se encuentra prohibido y/o restringido debido a que se tienen evidencias documentales de residualidad y con efectos nocivos en el medio ambiente. Se recomienda realizar más estudios de residualidad.

La aplicación foliar de bioreguladores de crecimiento en árboles jóvenes de nogal 'Western Schley' minimizó la alternancia al mantener el número de frutos amarrados antes de la cosecha entre los años de evaluación, el rendimiento aumento, sin afectar el peso de nuez y el porcentaje de almendra.

En este estudio, la aplicación de GA3 mantuvo los valores de rendimiento, minimizando la alternancia. Sin embargo, el peso de la nuez por kilogramo y el porcentaje de almendra no se vieron afectados por los tratamientos aplicados. Por otro lado, la aplicación de GA3, PCa y TDZ mostró un efecto similar sobre la concentración foliar de carbohidratos no estructurales y N-total, sin embargo, el P solo mostró un efecto positivo con el PCa. Sin embargo, la concentración foliar de Zn^{2+} mostró variación entre años, sin efecto debido a la aplicación de bioreguladores.

Finalmente, la aplicación de ácido giberélico (GA3-50 mg L⁻¹), prohexadiona de calcio (PCa-500 mg L⁻¹), thidiazuron (TDZ-10 mg L⁻¹) podría ser una estrategia para el manejo de la alternancia en árboles de nogal 'Western Schley'.

LITERATURA CITADA

- Balandrán-Valladares M. I., O. Cruz-Álvarez, J. L. Jacobo-Cuellar, O. A. Hernández-Rodríguez, M. A. Flores-Córdova, R. A. Parra-Quezada, E. Sánchez-Chávez y D. L. Ojeda-Barrios (2021)** Changes in nutrient concentration and oxidative metabolism in pecan leaflets at different doses of zinc. *Plant, Soil and Environment* 67:33–39, <https://doi.org/10.17221/525/2020-PSE>
- Castillo-González, J., D. Ojeda-Barrios, A. Hernández-Rodríguez, A. C. González-Franco, L. Robles-Hernández y G. R. López-Ochoa (2018)** Zinc metalloenzymes in plants. *Interciencia* 43:242-248, <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/05/242-6131-OJEDA-43-04.pdf>
- Castillo-González, J., D., Ojeda-Barrios, A. Hernández-Rodríguez, J. Abadía, E. Sánchez, R., Parra-Quezada, M. C. Valles-Aragon y J. P. Sida-Arreola (2019)** Zinc Nutritional Status of Pecan Trees Influences Physiological and Nutritional Indicators, the Metabolism of Oxidative Stress, and Yield and Fruit Quality. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(2) <https://doi/10.15835/nbha47211389>
- Kumar P., S. K. Sharma, R. S. Chandel, J. Singh y A. Kumar (2016)** Nutrient dynamics in pistachios (*Pistacia vera* L.): The effect of mode of nutrient supply on agronomic performance and alternate-bearing in dry temperate ecosystem. *Scientia Horticulturae* 210:108-121, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.018>
- Martínez-Damián M. T., R. Cano-Hernández, E. C Moreno-Pérez, F. Sánchez-del-Castillo y O. Cruz-Álvarez (2019)** Effect of preharvest growth bioregulators on physicochemical quality of saladette tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 25:29-43, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.013>
- Ojeda-Barrios D. L., O. A. Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez, A. Núñez-Barrios y E. Perea-Portillo (2009)** Foliar application of zinc chelates on pecan. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:205-210, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.562>

- Ojeda-Barrios D., E. Sánchez-Chávez, J. Sida-Arreola, R. Valdez-Cepeda y M. Balandran-Valladares (2016)** The impact of foliar nickel fertilization on urease activity in pecan trees. *Journal of soil science and plant nutrition* 16:237-247, <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000019>
- Pai, S. R. y N. S. Desai (2018)** Effect of TDZ on various plant cultures. In Thidiazuron: From urea derivative to plant growth regulator. Ahmad N., Faisal M. (eds) Springer, Singapore. pp:439-454, https://doi.org/10.1007/978-981-10-8004-3_25
- Pasa M. S., C. P. Silva, B. Carra, A. F. Brighenti, A. L. K. Souza y J. L. Petri (2017)** Thidiazuron (TDZ) increases fruit set and yield of 'Hosui' and 'Packham's Triumph' pear trees. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 89:3103-3110, <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170644>
- Pérez-Barraza M. H., R. Cano-Medrano, E. Avitia-García, M. A. Gutiérrez-Espinosa, Y. Nolasco-González y T. Osuna-Enciso (2017)** Mango growth regulators: their relation ship with carbohydrates number and size of cells. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:3855-3868, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.655>
- Rademacher W. (2016)** Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annual Plant Reviews* online 49:359-403, <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0541>.
- Randall J., A. Rascon, R. Heerema y M. Potter (2015)** Molecular mechanisms of pecan flower induction. *Acta Horticulturae* 1070:89-99, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1070.10>
- Rebolledo A. y M. A. Romero (2011)** Research advances on the productive behavior of avocado trees (*Persea americana* Mill.) under subtropical conditions. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnologia Agropecuarias* 12:113-120, https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:220
- Rehman M., Z. Singh y T. Khurshid (2018)** Pre-harvest spray application of prohexadione-calcium and paclobutrazol improves rind colour and regulates fruit quality in M7 Navel oranges. *Scientia Horticulturae* 234:87-94, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.018>
- Sharma N., S. K. Singh, A. K. Mahato, H. Ravishankar, A. K. Dubey y N. K. Singh (2019)** Physiological and molecular basis of alternate bearing in

perennial fruit crops. *Scientia horticulturae* 243:214-225. 26, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.021>

Smith M. W. (2012) Fruit production characteristics of 'Pawnee' pecan. *HortScience* 47:489-496, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.4.489>

Smith M. W. y B. S. Cheary (2013) Response of pecan to annual soil band applications of phosphorus and potassium. *HortScience* 48:1411-1415, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.11.1411>

Smith M. W., C. T. Rohla and W. D. Goff (2012) Pecan leaf elemental sufficiency ranges and fertilizer recommendations. *HortTechnology* 22:594-59, <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.22.5.594>

Tejagal I. A., G. Vargas-Domínguez, V. López-Martínez, L. A. Valdés-Aguilar, P. Juárez-López, D. Guillen-Sánchez, G. A. Pérez-Arias y M. T. Colinas-León, (2020) Reguladores de crecimiento en la calidad de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch). *Acta Agrícola y Pecuaria* 6:E0061010, <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061010>

Wang, W. D., C. Y. Wu y B. K. Lonameo (2019) Toxic effects of paclobutrazol on developing organs at different exposure times in zebrafish. *Toxics* 7:62, <https://doi.org/10.3390/toxics7040062>

Wood B. W. (2011) Influence of plant bioregulators on pecan flowering and implications for regulation of pistillate flower initiation. *HortScience* 46:870-877, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.870>

Wood B. W. (2014) Flow volume and carbohydrate composition of late winter xylem sap influences subsequent crop load in pecan. *HortScience* 49:886-890, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.7.886>

Zuo X., D. Zhang, S. Wang, L. Xing, Y. Li, S. Fan, L. Zhang, J. Ma, C. Zhao, K. Shah, N. An y M. Han (2018) Expression of genes in the potential regulatory pathways controlling alternate bearing in 'Fuji' (*Malus domestica* Borkh.) apple trees during flower induction. *Plant Physiology and Biochemistry* 32:579-589, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.003>