

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

**PODA Y BIORREGULADORES EN LA
BROTACIÓN, PRODUCCIÓN Y CALIDAD
DE FRUTO DE ARÁNDANO ‘BILOXI’**

YENNYFER ALEXANDRA PEÑA RICO

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Yennyfer Alexandra Peña Rico, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Guillermo Calderón Zavala, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis PODA Y BIORREGULADORES EN LA BROTAÇÃO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTO DE ARÁNDANO 'BILOXI'.

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 13 de septiembre de 2019



Firma del
Alumno (a)



DR. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **PODA Y BIORREGULADORES EN LA BROTACIÓN, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTO DE ARÁNDANO 'BILOXI'**, realizada por la alumna: **Yennyfer Alexandra Peña Rico**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRIA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA

ASESOR



DR. JAVIER SUÁREZ ESPINOSA

ASESOR



DR. EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, octubre de 2019

PODA Y BIORREGULADORES EN LA BROTAÇÃO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTO DE ARÁNDANO 'BILOXI'

Yennyfer Alexandra Peña Rico, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

En la producción de arándano en México, la floración se concentra en las zonas apicales de la planta, por ello es necesario desarrollar sistemas de producción que incrementen la brotación de yemas reproductivas hacia la base de la rama fructificante, para obtener mayor rendimiento en la mejor época. Con este propósito, se realizaron dos estudios en condiciones de invernadero, de 2017 a 2019, en Montecillo, Estado de México; se realizó un experimento con dos factores de estudio: en el primer estudio la poda con 0, 10 y 20 % de despunte apical y la aplicación de 5 biorreguladores (TDZ: thidiazurón [100 mg L^{-1}], AG₃: ácido giberélico [25 mg L^{-1}], GLU: ácido glutámico [150 mg L^{-1}], B1: tiamina [150 mg L^{-1}], TRP: triptófano [150 mg L^{-1}], testigo); en el segundo ciclo la poda apical fue de 0, 5 y 10 % de despunte y 4 biorreguladores (TDZ [50 mg L^{-1}], AG₃ [25 mg L^{-1}], GLU [150 mg L^{-1}], TRP [150 mg L^{-1}], testigo). Se evaluó la brotación de yemas laterales, dinámica de floración y producción, número de flores e inflorescencias, rendimiento y calidad de fruto de arándano 'Biloxi'. El TDZ (100 mg L^{-1}) combinado con AG₃ (25 mg L^{-1}) promovió la brotación de yemas (35%), pero ocasionó fitotoxicidad, referida como: detención del crecimiento, entrenudos cortos, necrosis arrosamiento de brotes laterales, en consecuencia, disminuyó el número de yemas fructificantes, flores abiertas, inflorescencias y la producción de fruto. A diferencia, en el segundo ciclo, el TDZ (50 mg L^{-1}) combinado con AG₃ (25 mg L^{-1}), GLU (150 mg L^{-1}) y TRP (150 mg L^{-1}) indujo mayor brotación de yemas, mayor número de flores e inflorescencias y promovió un incremento en el rendimiento, comparado con el testigo. El efecto de las podas de despunte leves y severas en ambos experimentos disminuyeron el número de yemas brotadas, de flores y de inflorescencias; además, atrasaron la floración y como consecuencia se obtuvo menor rendimiento. Los tratamientos no afectan de manera significativa los parámetros de calidad de frutos, pero la aplicación de TDZ (50 mg L^{-1}) + AG₃ (25 mg L^{-1}) indujo mayor número de frutos, de mayor peso, diámetro y firmeza.

Palabras clave: *Vaccinium spp*, aminoácidos, reguladores del crecimiento, poda en verde, producción forzada.

PRUNING AND BIORREGULATORS ON SPROUTING, PRODUCTION AND QUALITY OF BLUEBERRY 'BILOXI'

Yennyfer Alexandra Peña Rico, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

In the blueberry production in Mexico flowering is concentrated in the apical areas of the plant, it is necessary to develop a technic that increase the sprouting of basipetal buds to obtain greater yield in the best time for marketing. With this purpose, two studies were carried out in greenhouse conditions, from 2017 to 2019 in Montecillo, State of Mexico, in which an experiment was carried out with two study factors: in the first study, pruning with 0, 10 and 20% of apical blunt and the application of 5 bioregulators (TDZ: thidiazuron [100 mg L⁻¹], AG3: gibberellic acid [25 mg L⁻¹], GLU: glutamic acid [150 mg L⁻¹], B1: thiamine [150 mg L⁻¹], TRP: tryptophan [150 mg L⁻¹], control); in the second cycle the apical pruning was 0, 5, 10% and 4 bioregulators (TDZ [50 mg L⁻¹], AG₃ [25 mg L⁻¹], GLU [150 mg L⁻¹], TRP [150 mg L⁻¹] and a control). Lateral budbreak, flowering and fruit production dynamics, yield and fruit quality of blueberry fruit 'Biloxi' were evaluated. Spraying TDZ (100 mg L⁻¹) combined with AG₃ (25 mg L⁻¹) promoted greater budbreaking (35 %), but caused phytotoxicity, referred to as: growth arrest, short internodes, lateral bud necrosis, consequently, it resulted in lower emission of flowers and lower fruit production per plant. In contrast, TDZ (50 mg L⁻¹) combined with AG₃ (25 mg L⁻¹), GLU (150 mg L⁻¹) and TRP (150 mg L⁻¹) in lateral branches induced greater budbreking, number of flowers and inflorescences and promoted an increase in yield, in relation to the control treatment., also did not cause abnormal development of the plant. The effect of mild and severe pruning in both cycles decreased budbreaking, number of flowers and inflorescences, in addition, delayed flowering and as a result lower yield was obtained. Treatments do not significantly affect the fruit quality parameters, but application of TDZ (50 mg L⁻¹) + AG₃, induced a greater number of fruits with a higher fruit weight, diameter and firmness.

Key words: *Vaccinium spp.*, amino acids, growth regulators, green pruning, off-season production.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) me brindaron el apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al colegio de Posgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, por darme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos y facilidades para desarrollar este proyecto de investigación.

Al Dr. Guillermo Calderón Zavala por haberme aceptado como su estudiante, con ello transmitirme parte de su conocimiento y todas las facilidades para realizar este proyecto de investigación. Así como a los integrantes de mi consejo particular, el Dr. Javier Suárez Espinosa y el Dr. Eduardo García Villanueva, por sus valiosas aportaciones en este trabajo.

Al personal de campo y laboratorios, por el apoyo, disposición y la facilidad de materiales para la realización de este proyecto de investigación.

A mis compañeros de generación, Mariana, Magaly y José Antonio, por las experiencias y buenos momentos compartidos durante estos años significativos.

A mis amigos y amigas, Luisa, Yady, Noly, Isa, Flor, Pau, Emma, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación personal. A todas las personas que me motivaron a seguir adelante y a todas aquellas que me hicieron sentir como en casa.

A mi familia por el apoyo incondicional que me brindó para cumplir con una meta más en mí vida.

Infinitamente gracias.

DEDICATORIA

Hoy es el día en que mi vida profesional comienza, toda mi vida he sido solo yo, sola una estudiante. Hoy me convierto responsable ante alguien, además de mí misma, hoy me siento preparada para asumir cualquier situación, voy a estar lista para aceptar posibilidades y responsabilidades, pues hoy comienza mi vida profesional en ciencias. Por ello, quiero dedicarle este triunfo primeramente a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, capacidad, entereza e inteligencia en todo lo que realicé para lograr esta meta. A mis padres **Nohora Lucia Rico Díaz** y **Jorge Hugo Cesar Peña Rojas** por ser mi motivación, por encaminar mi futuro y por su apoyo incondicional.

A mis hermanos **Vivi, Sol, Leo** y **Caro** y sobrinos **Esteban** y **Gero** por ser parte de mi motivación.

A **Nicolas Cardozo Hernández** por compartir tu vida conmigo y apoyarme en cada decisión que tomo.

A ti amiga, **Florencia Sánchez** por tu apoyo, cariño, consejos y por hacerme sentir como tu hermana.

A ti **Diego Alexander Vázquez Aguilar** por tus palabras de aliento, por los momentos compartidos, por tu apoyo incondicional.

Con Amor, Yennyfer Alexandra Peña Rico

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia Mundial y Nacional.....	4
Aspectos generales del cultivo de arándano.....	5
Requerimiento de suelo y uso de sustrato	6
Dormancia de yemas	7
Brotación de yemas reproductivas.....	8
Crecimiento de brotes en arándano	9
Promotores de la brotación	10
Reguladores de crecimiento de plantas	10
Bioactivadores.....	10
Giberelinas.....	11
Thidiazurón (TDZ)	13
Ácido Glutámico.....	15
Triptófano.....	17
La poda como práctica para promover brotación de yemas	17
LITERATURA CITADA	19
CAPÍTULO I. PODA APICAL Y BIORREGULADORES EN LA BROTA CIÓN FLORAL, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO EN ARÁNDANO ‘BILOXI’ ...	25
1.1. RESUMEN	25
1.2. ABSTRACT	26
1.3. INTRODUCCIÓN	27
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
1.6. CONCLUSIONES	47
1.7. LITERATURA CITADA	47
CAPÍTULO II. BROTA CIÓN DE YEMAS EN ARÁNDANO ‘BILOXI’ CON PODA APICAL Y UNA MEZCLA DE BIORREGULADORES	53

2.1. RESUMEN	53
2.2. ABSTRACT	54
2.3. INTRODUCCIÓN	55
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	57
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
2.6. CONCLUSIONES	84
2.7. LITERATURA CITADA	84
CONCLUSIONES GENERALES.....	90

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Combinación de biorreguladores (TDZ, AG₃, GLU, B1 y TRP) con intensidades de poda de despunte aplicados a plantas de arándano ‘Biloxi’ en invernadero en Montecillo, Edo. de México..... 30
- Cuadro 2.** Porcentaje de brotación a 82 ddt por efecto de los tratamientos en arándano ‘Biloxi’ en invernadero en Montecillo, México..... 36
- Cuadro 3.** Número total de flores abiertas (NTFA) en ramas laterales y centrales por planta en los tratamientos aplicados en arándano ‘Biloxi’ en invernadero. 40
- Cuadro 4.** Rendimiento total y número de frutos en ramas laterales y centrales de la planta por efecto los biorreguladores aplicados el 14 de abril 2018 en arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero. 44
- Cuadro 5.** Peso individual promedio de fruto, firmeza, sólidos solubles totales y antocianinas en ramas laterales y ramas centrales para los tratamientos aplicados en arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero en Montecillo, México de abril a octubre de 2018..... 46
- Cuadro 6.** Combinación de biorreguladores (TDZ, AG₃, GLU y TRP) con intensidades de poda apical aplicados a plantas de arándano ‘Biloxi’ en invernadero en Montecillo, Edo. de México..... 58
- Cuadro 7.** Efecto de la poda en el porcentaje de brotación de yemas, número de inflorescencias, número de flores y amarre de furto en arándano ‘Biloxi’ 67
- Cuadro 8.** Efecto de la aplicación de biorreguladores en el porcentaje de yemas brotadas, número de inflorescencias, número de flores, amarre y días de flor a fruto en ramas laterales y número de flores en ramas centrales en arándano ‘Biloxi’ en invernadero..... 68
- Cuadro 9.** Efecto de la aplicación de biorreguladores y poda en el peso, número y diámetro de frutos en ramas laterales y centrales en arándano ‘Biloxi’ en invernadero.. 77
- Cuadro 10.** Efecto de la poda y aplicación de biorreguladores en el calibre, diámetro horizontal y firmeza de frutos en ramas laterales y centrales en arándano ‘Biloxi’ en invernadero..... 80
- Cuadro 11.** Efecto de la aplicación de biorreguladores y poda en el contenido de antocianinas totales, fenoles totales, vitamina C, acidez titulable y solidos solubles totales en frutos frescos de arándano ‘Biloxi’ en invernadero..... 81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pedigrí del arándano cv. Biloxi (Spiers y Stringer, 2002).....	5
Figura 2. Modelo transporte de auxinas desde el ápice del brote para reprimir la biosíntesis de las citoquininas, lo que lleva a la inhibición del crecimiento de los brotes axilares (Su <i>et al.</i> , 2011).	8
Figura 3. Tipos de brotes de arándanos, A: normales desde yemas invernantes; B: vigorosos de yemas latentes; C: anticipados.	10
Figura 4. Estructura de las Citocininas (Kieber, 2002).....	14
Figura 5. Vías de síntesis de glutamato y metabolismo en plantas (Forde y Lea, 2007)....	16
Figura 6. Temperaturas máximas, mínimas y media mensuales de abril a octubre de 2018, registradas dentro del invernadero en Montecillo, Edo. de México	34
Figura 7. Aspecto de las plantas tratadas: a) 100% de yemas laterales brotadas en los tratamientos con TDZ, entrenudos cortos, clorosis; b) brotación arrosetada; c) yemas laterales necrosada en arándano ‘Biloxi’	37
Figura 8. Dinámica de floración en ramas fructificantes de arándano ‘Biloxi’ después de la aplicación de tratamientos (ddt) con poda a 10% (a), 20% (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón; AG ₃ : ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; tiamina (vitamina B1); TRP: triptófano. NS: No significativo.....	39
Figura 9. Dinámica de producción en ramas laterales/planta de arándano ‘Biloxi’ después de la poda a 10 % (a), 20 % (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón [100 mg L ⁻¹]; AG ₃ : ácido giberélico [25 mg L ⁻¹]; GLU: ácido glutámico [150 mg L ⁻¹]; B1: tiamina [150 mg L ⁻¹]; TRP: triptófano [150 mg L ⁻¹].....	42
Figura 10. Dinámica de producción en ramas centrales de arándano ‘Biloxi’ días después de la poda a 10 % (a), 20 % (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón [100 mg L ⁻¹]; AG ₃ : ácido giberélico [25 mg L ⁻¹]; GLU: ácido glutámico [150 mg L ⁻¹]; B1: tiamina [150 mg L ⁻¹]; TRP: triptófano [150 mg L ⁻¹].....	43
Figura 11. Representación esquemática de la unidad experimental:	59
Figura 12. Temperaturas máximas, mínimas y media de noviembre 2018 a Julio de 2019, registradas dentro del invernadero.	65

Figura 13. Efecto de la aplicación de biorreguladores (Thidiazurón, Ácido Giberélico, Ácido Glutámico y Triptófano) en la brotación de yemas de ramas laterales de arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero.....	69
Figura 14. Dinámica de producción en ramas laterales de arándano ‘Biloxi’ días después de la poda a 5% (a), 10% (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores: TDZ: thidiazurón; AG ₃ : ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.	72
Figura 15. Etapas de crecimiento de botón floral a fruto maduro en arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero, Montecillo Estado de México.	74
Figura 16. Dinámica de producción en ramas laterales de arándano ‘Biloxi’ después de la poda a 5% (a), 10% (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores TDZ: thidiazurón; AG ₃ : ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.	75
Figura 17. Dinámica de producción en ramas centrales de arándano ‘Biloxi’ días después del inicio de la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón; AG ₃ : ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.	76

INTRODUCCIÓN GENERAL

El arándano (*Vaccinium* spp.) es originario de Estados Unidos y Canadá, el arbusto tipo southern highbush se desarrolló para la producción del sur de EE.UU. y en combinación con las características del arándano del norte y del cv. ‘Ojo de conejo’, resulta un cultivar con un requerimiento de frío menor a 500 h, floración tardía y un periodo de maduración del fruto más corto. Lo anterior permite la introducción y el desarrollo de este cultivo en zonas subtropicales, entre ellas México.

Estados Unidos es el mayor productor de arándanos, seguido de Canadá y Chile. México para el año 2018 ocupó el cuarto lugar en producción, con alrededor de 40 000 t. La cosecha total proviene de más de 3 mil 600 ha, de las cuales cerca del 95% se concentra en los estados de Jalisco, Sinaloa, Michoacán, Baja California y Colima (SADER, 2018).

En Canadá y Norte de EE.UU el fruto se cosecha de junio a octubre y, de la mitad de agosto a mediados de octubre disminuye la oferta de producto fresco. Debido a que en México el arándano southern highbush (SHB) tiene dos periodos de inducción floral: primavera y verano, los cuales resultan en múltiples cosechas en un año (Retamales y Hancock, 2012), existe el potencial para exportar a EE.UU en la temporada de baja producción y coincidir con mejores precios (Romero, 2016).

Uno de los problemas del cultivo, es que la producción de frutos se concentra en los ápices de las ramas, lo que sugiere, que los nutrientes son transportados a largas distancias, pasando por órganos fuente vegetativos para luego llegar a la zona productiva (Retamales y Hancock, 2012). Además, presenta una floración prolongada y, en consecuencia, periodos largos de cosecha. De manera que, adelantar la producción es una forma de lograr comercializar la fruta en la época de mayor demanda internacional.

Al respecto, en este tipo de arándanos una iniciación floral más temprana de yemas resulta en una floración anticipada (Kovaleski *et al.*, 2015). Sin embargo, factores como la

temperatura, la luz solar, la disponibilidad de nutrientes y el estado de la yema interfieren en la programación de cosechas.

Para favorecer la brotación de yemas laterales y contrarrestar la dominancia apical, se emplean prácticas como el uso de biorreguladores y podas en verde, las cuales permiten estimular el desarrollo de brotes anticipados, aumentar la cantidad de yemas florales por planta (Williamson *et al.*, 2004), que es el componente más importante del rendimiento en muchos cultivos, incluido el arándano (Salvo *et al.*, 2011), lo cual, además, permitiría adelantar la cosecha en México con el fin de obtener producción en épocas de mayor demanda en E.U.

La producción comercial de arándano ha ido en aumento debido a que el fruto es conocido por sus compuestos bioactivos; flavonoides, ácidos fenólicos, taninos y antocianinas (Yang *et al.*, 2014) de alta capacidad antioxidante (Kalt *et al.*, 2000; Okan *et al.*, 2018). De manera que, el sabor de la baya y los beneficios que proporciona para la salud son los rasgos de calidad más importantes que determinan el interés de los consumidores (Gilbert *et al.*, 2014). Estados Unidos, Canadá, Japón y países de Europa clasificaron los arándanos como alimentos saludables para el humano (Yuan, 2003), con compuestos biológicos activos importantes en distintos ámbitos de la salud (Yang *et al.*, 2019), que proveen la capacidad anticancerígena, el retraso del envejecimiento y mejora la inmunidad (Suh *et al.*, 2007; Prior *et al.*, 2010; Zhao X., 2011).

Por lo anterior y con el fin de obtener mayor brotación de yemas, aumentar el rendimiento y obtener frutos de mayor calidad, se plantea evaluar el uso de biorreguladores y podas en verde, como prácticas que permiten aumentar la brotación de yemas laterales, adelantar floración, y anticipar la cosecha con el fin de obtener producción en épocas de mayor demanda.

HIPÓTESIS

Las intensidades de poda y la aplicación de biorreguladores afectan la brotación de yemas y la floración de arándano cv. Biloxi en condiciones de invernadero.

La poda y la aplicación de biorreguladores aumentan el rendimiento y la calidad de frutos de arándano cv. Biloxi en condiciones de invernadero.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la poda apical de laterales productivas y la aplicación de biorreguladores sobre el rendimiento y calidad de frutos de arándano ‘Biloxi’ bajo condiciones de invernadero.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el efecto de tres intensidades de poda y la aplicación de biorreguladores sobre la floración de arándano cv. Biloxi bajo condiciones controladas de invernadero.

Evaluar el efecto de tres intensidades de poda y la aplicación de biorreguladores sobre el rendimiento de arándano cv. Biloxi bajo condiciones controladas de invernadero.

Evaluar el efecto de tres intensidades de poda y la aplicación de biorreguladores sobre la calidad de frutos de arándano cv. Biloxi bajo condiciones controladas de invernadero.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia Mundial y Nacional

En los últimos 20 años la producción de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.), se ha expandido en varios países y ha cobrado importancia debido a sus propiedades sensoriales y presencia de compuestos de alta capacidad antioxidante (Gündüz *et al.*, 2015).

A nivel mundial, Estados Unidos es el mayor importador y productor de arándanos, seguido de Canadá y Chile; por su parte, México ocupa el cuarto lugar, con una producción que alcanzó 36 700 t en el año 2017 (FAOSTAT, 2017), de la cual, el 41 % se destina a mercado internacional y de éste, el 95.4 % va dirigida al mercado estadounidense con oportunidad de exportar a Reino Unido.

México cuenta con un área cosechada de 3 334 ha y los principales estados productores son: Jalisco, Michoacán, Sinaloa y Baja California, donde se concentra cerca del 95 % de la misma. La producción total para el año 2017 fue de 36 700 t y generó un aporte económico de 2 150 millones de pesos, de los cuales, 856 corresponden a Michoacán, principal entidad por su aporte económico. Mientras que, el valor obtenido de las exportaciones asciende a 231 millones de dólares (SIAP, 2017). Para el año 2018, la producción aumentó a 40 000 t; 39 000 con sistema de riego y 800 en temporal, provenientes de 3 600 ha de las principales entidades productoras. Jalisco ocupa el primer lugar, seguido de Sinaloa, Michoacán, Baja California y Colima (SADER, 2018).

En la mayoría de países productores utilizan cultivares que se desarrollaron en Estados Unidos (Retamales y Hancock, 2012) y la cosecha se realiza normalmente de junio a octubre en América del Norte y de octubre a abril en Chile, África del Sur y Oceanía, con riesgos de heladas, pero con potencial de producir fuera de temporada (en contra estación del hemisferio norte) y coincidir con mejores precios (Romero y Vargas, 2016); sin embargo, en alrededor del

60 % de éstos países el cultivo presenta inestabilidad en el rendimiento lo cual puede ser debido a factores genéticos y ambientales (Petridis *et al.*, 2018).

Aspectos generales del cultivo de arándano

La variedad Biloxi (1998 – Mississippi) es un arándano tetraploide, denominado arbusto alto del sur (southern highbush) y fue desarrollado por el Departamento de Agricultura del Servicio de Investigación Agrícola de EE. UU de la cruce entre Sharpeblue y US329 como se muestra en la Figura 1. Es una planta arbustiva, con floración temprana y con requerimiento de frío de 400 - 500 hf; debido a su bajo requerimiento de frío puede adaptarse a sistemas de cultivo de hoja perenne o siempre verde (Retamales y Hancock, 2012). El arándano tipo alto es un arbusto con un sistema radicular poco desarrollado y una porción de aérea está constituida por brotes primarios que surgen de la corona de la planta, se vuelven leñosos en la segunda temporada de crecimiento, y sobre estos brotes primarios se desarrollan sucesivas ramificaciones (Gough, 1997).

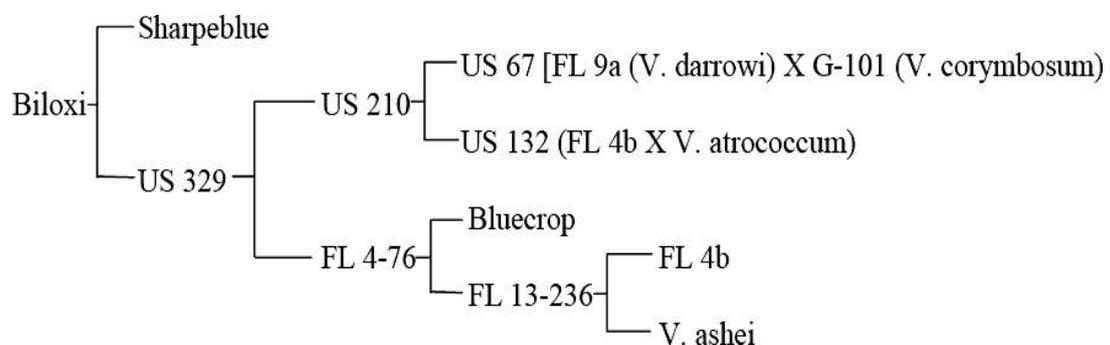


Figura 1. Pedigrí del arándano cv. Biloxi (Spiers y Stringer, 2002).

En ramas que portan yemas florales, la producción se concentra en la parte apical y el número varía según la variedad. En ‘Biloxi’, las bayas son de tamaño pequeño a mediano, color azul, firme, con buen sabor y con solo una cicatriz marginal (Retamales y Hancock, 2012). Luego, en posición más basal, se ubican las yemas vegetativas; los brotes que van surgiendo a partir de estas son cada vez más delgados y cortos, con menor cantidad de entrenudos. De

manera tal, que a mayor cantidad de nudos y diámetro de la rama, mayor es la posibilidad de que se desarrollen yemas florales (Strik y Buller, 2005).

La cantidad de yemas por rama productiva está relacionada con el diámetro, la longitud y la cantidad de nudos que posea, asimismo, la cantidad de frutos cuajados y el tamaño final depende no sólo de las características genéticas, también del manejo nutricional, del riego y la poda (Galletta y Himelrick, 1990). Por lo anterior, en muchos cultivos incluido el arándano, el número y densidad de yemas florales es el componente más importante del rendimiento (Salvo *et al.*, 2011). No obstante, este puede ser alterado por factores genéticos y ambientales, en consecuencia la variación ambiental ocurrida cada año interrumpe la asimilación, el almacenamiento y la partición de carbono, lo que genera fluctuación en el rendimiento (Petridis *et al.*, 2018).

Requerimiento de suelo y uso de sustrato

En plantas jóvenes de arándano, el sistema radical es poco y superficial, característica que hace susceptible a la planta a estrés por sequía. Por tal razón, los requerimientos de suelo en arándanos son específicos, puesto que la planta se desarrolla mejor en suelos con buen drenaje, franco arenoso, con alto contenido de materia orgánica y pH entre 4.5 y 5.5 (Bouska *et al.*, 2018; Strik y Finn, 2008). En sistemas de plantación en macetas, es importante garantizar que el sustrato le proporcione a la planta estabilidad y le permita una distribución continua de aire, además, disponibilidad de agua y nutrientes (Yeager *et al.*, 2007); de manera que, el uso de peatmoss, incrementa la capacidad de retención de agua (Albert *et al.*, 2010).

Por otra parte, la calidad de las labores realizadas afecta en gran medida el rendimiento del arbusto, por tanto es necesario controlar factores como: variedad (Bryla, 2008), riego (Bryla *et al.*, 2011; Holzapfel *et al.*, 2015), fertilización con manejo convencional (Bryla y Shireman, 2010) manejo orgánico (Muñoz-Vega *et al.*, 2016) y pH (Bouska *et al.*, 2018; Ferreyra *et al.*, 2000).

Dormancia de yemas

La inactivación de yemas está en función del origen de la señal que detiene el crecimiento; en consecuencia, señales endógenas de una estructura diferente inducen la paradormancia, por ejemplo, las impuestas por hormonas vegetales y la dominancia apical. Los efectos del medio ambiente ocasionan ecodormancia como: temperaturas extremas, estrés hídrico y deficiencia de nutrientes, mientras que la endodormancia está regulada por factores fisiológicos internos del meristemo (Domagalska y Leyser, 2011; Díaz-Montenegro, 2002; Lang *et al.*, 1987).

Hormonas vegetales como las auxinas (Aux), citocininas (CKs) y estrigolactonas son fundamentales para el control de la activación de yemas y regulan los procesos de ramificación de brotes. Existen dos tipos de modelos que explican la inhibición de yemas axilares propiciadas por la dominancia apical (Figura 2); el primer modelo se basa en el transporte polar de auxinas, las cuales ejercen un papel importante en la filotaxia de primordios foliares (Azcón - Bieto y Talón, 2008), se sintetizan en el ápice caulinar y hojas jóvenes en expansión, a larga distancia se transportan en sentido basipetalo por medio de proteínas portadoras del flujo de auxinas (PIN) (Domagalska y Leyser, 2011).

El mecanismo que inhibe la brotación mediada por auxinas es indirecto, pues altera en el entrenudo la expresión de la enzima Isopentil transferasa (IPT) importante en la síntesis de CKs. Estas por su parte, se sintetizan principalmente en raíz y en menor cantidad en brotes, son transportadas hacia la parte aérea y estimulan directamente la brotación (Kudo *et al.*, 2010; Su *et al.*, 2011; Tanaka *et al.*, 2006). Si se despunta la planta, las CKs de reciente síntesis, en el entrenudo, se transportan a la yema y estimulan la brotación (Domagalska y Leyser, 2011).

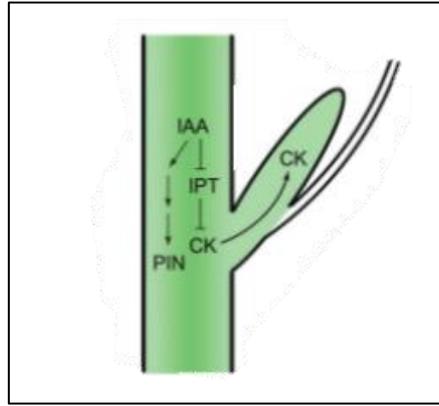


Figura 2. Modelo transporte de auxinas desde el ápice del brote para reprimir la biosíntesis de las citoquininas, lo que lleva a la inhibición del crecimiento de los brotes axilares (Su *et al.*, 2011).

Brotación de yemas reproductivas

El crecimiento de los brotes de arándano ocurre en flujos de uno a tres por temporada y a partir de la detención del crecimiento vegetativo, en algunas yemas, se da el proceso de inducción y diferenciación floral (Bañados *et al.*, 2007; Bañados y Strik, 2006). La inducción floral está regulada por un estímulo ambiental, principalmente temperatura y fotoperiodo. En arándano tipo alto del sur se requiere una temperatura media de 21°C con exposición a días cortos de 8 h/luz para la inducción floral y por consiguiente mejor brotación floral de yemas. Exposiciones a temperaturas mayores de 28°C con 8 h/luz y 16h/luz la inducción floral es prácticamente nula y no hay brotación floral (Bañados y Strik, 2006; Pescie *et al.*, 2011; Spann *et al.*, 2004).

De esta manera, la floración ocurre en yemas que se han diferenciado en el periodo que se detuvo el crecimiento y el inicio y grado de desarrollo de yemas de inflorescencia pueden determinar el tiempo de floración (Spann *et al.*, 2004). También, el momento de la diferenciación floral y el tiempo en que estas flores se forman hace parte de los factores a considerar en la programación de cosechas, pues en arándano alto del sur una iniciación más temprana de yemas da como resultado una floración más temprana, característica que depende del cultivar (Kovaleski *et al.*, 2015).

Crecimiento de brotes en arándano

En arándano, existen tres tipos de brotes; normales, vigorosos y anticipados, los cuales se diferencian dependiendo de su origen y la posición de la yema que le dio origen. Así pues, los brotes normales se originan desde yemas vegetativas, invernales ubicadas en ramas laterales con un año de crecimiento; los brotes vigorosos se originan a partir de la corona de la planta o de yemas latentes que se ubican en ramas laterales con más de dos años de crecimiento; y los brotes anticipados son aquellos que se originan de las ramas brotadas en la misma temporada. No obstante, los flujos de crecimiento de brotes en arándanos dependen del vigor del brote, cultivar, nutrición y grado de dominancia apical (Bañados *et al.*, 2007).

Los brotes anticipados pueden deberse a prácticas como la poda en verde o bien como hábito normal de un cultivar, de manera que el despunte de los brotes en verde estimula la brotación de yemas que se encontraban inhibidas correlativamente por la yema apical, la cual puede originar entre dos y cuatro brotes anticipados. Sin embargo, el estado de latencia de la yema y la intensidad del corte, son factores que determinan la efectividad de la brotación de estos brotes. De manera que, el despunte fuera de tiempo ocasiona laterales cortas, yemas florales que inician en el lugar del corte o bien las yemas no brotan si su grado de inhibición es muy alto (Bañados *et al.*, 2007).

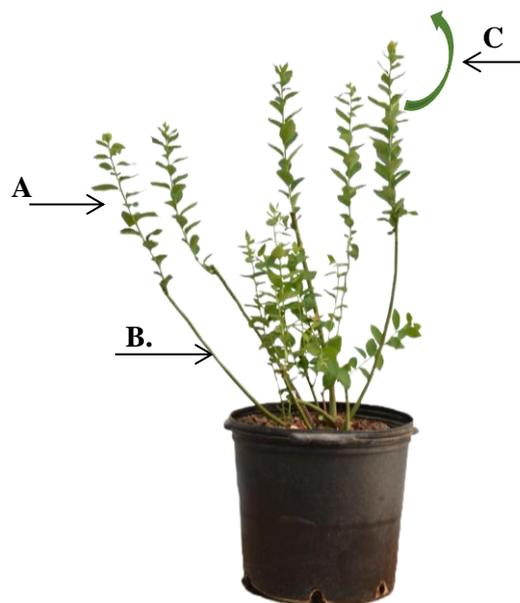


Figura 3. Tipos de brotes de arándanos, A: normales desde yemas invernantes; B: vigorosos de yemas latentes; C: anticipados.

Promotores de la brotación

Reguladores de crecimiento de plantas

Los reguladores de crecimiento (PGR) son compuestos de síntesis química o vegetal, utilizados para regular procesos fisiológicos, morfológicos de crecimiento y diferenciación como: floración, cuajados de fruto, maduración del fruto, ramificación y abscisión de hojas y frutos (Nesmith, 2008; Rademacher, 2015; Williamson y Lyrene, 2004). A nivel comercial, los biorreguladores simples o con más de dos ingredientes activos como: aminoácidos, vitaminas, enzimas, nutrientes, ácidos orgánicos, hormonas, entre otros, son aplicados en concentraciones bajas, según la etapa de crecimiento, el tejido específico de la planta y el momento de la aplicación, con el fin de asegurar la efectividad y regular el proceso fisiológico de interés (Díaz-Montenegro, 2002).

Bioactivadores

Los bioactivadores son compuestos obtenidos a partir de diferentes materiales vegetales y están constituidos por reguladores de crecimiento y bioestimulantes, principalmente por aminoácidos, polisacáridos, péptidos, fitohormonas y/o ácidos (Cidoncha, 2013). Se usan para

estimular el crecimiento de raíz y diferenciación celular, además pueden activar los mecanismos de defensa e interferir en la respuesta al estrés ambiental de las plantas. Todo ello ha llevado a que el desarrollo de nuevos bioactivadores se haya convertido en un foco de interés para la industria y la investigación (Cabrera, 2003). De manera que, en frutales, la aspersión de bioactivadores se ha utilizado para estimular eventos fisiológicos como: inducción floral de laterales (Galindo *et al.*, 2004; Loera-Alvarado *et al.*, 2017) adelantar floración (Nesmith, 2008; Zang *et al.*, 2016), adelantar el periodo vegetativo (Williamson y NeSmith, 2007) y amarre de fruto (Pérez-Barraza *et al.*, 2015). No obstante, la efectividad depende de la etapa fisiológica de la planta y el momento de la aplicación (NeSmith, 2002).

Giberelinas

Las Giberelinas (GAs) se identificaron inicialmente como compuestos fúngicos que promueven elongación del tallo; sin embargo, después se clasificaron como reguladores vegetales endógenos (Lester *et al.*, 2007). Se descubrieron en 1920 en plántulas de arroz que crecían mucho, por consiguiente, se acamaban y morían, efecto generado por el hongo *Gibberella fujikuroi*, el cual al producir ácido giberélico originaba dicho síntoma. A continuación, en 1960 en semillas de frijol encontraron las primeras GAs naturales (Taiz y Zeiger, 2002).

En la agricultura el estudio y manejo de los niveles de GAs permitió el desarrollo de variedades de grano semi enanas con deficiencia en la respuesta a GAs, alcance que fue considerado en el siglo XX como uno de los más significativos (Lester *et al.*, 2007). De ahí que la ruta de biosíntesis de GAs se determinó a partir de estudios con plantas de porte bajo deficientes de GAs (Phinney, 1956).

Las GAs biológicamente más activas fueron las primeras en descubrirse ($AG_{1,3,4}$ y 7) y su clasificación depende de la estructura; no obstante, todas poseen un grupo lactona, un ácido carboxílico (-CHOO), un grupo hidroxilo y OH en orientación β (Taiz and Zeiger, 2002). La

ruta de síntesis inicia en el proplastidio con la formación de Kaureno, se transporta a endomembranas para formar GA₁₂ y finaliza con reacciones desencadenantes de oxidación en el citoplasma para sintetizar las giberelinas activas (Azcón-Bieto y Talón, 2013; Hedden y Proebsting, 1999).

En la ruta de los terpenoides, la biosíntesis de GAs inicia con Isopentil Difosfato (IPP), el cual se origina a partir de la ruta dependiente de mevalonato o la vía independiente de mevalonato. La condensación de IPP resulta en la formación de Dimetilalil Difosfato (DMAPP) por medio de la enzima IPP isomerasa; las condensaciones sucesivas de la unidad de isopreno de IPP generan: Farnesyl difosfato (FPP) y posteriormente Geranylgeranyl difosfato (GGPP) un diterpeno con 20 carbonos (Hedden y Proebsting, 1999). Sin embargo, existen compuestos que inhiben las síntesis de GAs, dentro de ellos se encuentran los inhibidores de ciclasas, como el cloruro de clomequat (clorocolina), cloruro de mepiquat y cloruro de clorofonio. Los inhibidores de monooxigenasas P450 (familia de enzimas de oxidación) como el uniconazole, paclobutrazol y tectcyclacis y los inhibidores de dioxigenasas como la prohexadiona-Ca (Radamache, 2000; Rieu *et al.*, 2008).

Su mecanismo de acción se ha descrito como un inhibidor de un inhibidor, por lo tanto, las GAs no promueven crecimiento por sí solas, por el contrario, inhiben a los inhibidores de crecimiento y su biosíntesis está sometida a controles internos, como la retroalimentación negativa, y a factores ambientales, como el fotoperiodo. Además, las funciones biológicas de las GAs están mediadas por la interacción con las proteínas DELLA y estas a su vez están controladas por factores como luz, estrés biótico, y otras hormonas (Harberd *et al.*, 2009).

Las GAs promueven crecimiento a través de expansión y división celular, de manera que inducen la expresión de proteínas regulatorias del ciclo celular (ciclina), promueve ablandamiento de la pared celular y estabiliza la orientación de microtúbulos corticales, los cuales ayudan a estimular la elongación y dirigir el crecimiento (Inada *et al.*, 2000); Además,

las GAs median las respuestas al estrés a través de las proteínas DELLA, inducen germinación de semillas, movilización de reservas, promueven floración e interactúan con brasinoesteroides a nivel transcripcional (Harberd *et al.*, 2009).

Por tanto, las funciones biológicas de las GAs involucran la elongación de órganos axilares, tallos y peciolos (Taiz y Zeiger, 2002), intervienen en la dormancia de semillas, yemas y bulbos al activar diferentes enzimas para la hidrólisis de reservas, promueven germinación de semillas, crecimiento de raíz (Lester *et al.*, 2007) y desarrollo de fruto sin semilla. Asimismo, participa en procesos fisiológicos y de diferenciación como geotropismo, cambio de estado vegetativo a reproductivo, inducción floral, brotación de flores, expresión de sexo, amarre del fruto, así como la senescencia de hojas y frutos (Azcón-Bieto y Talón, 2008)

En estudios, Takahashi (1996) ha reportado que la aspersion de ácido giberélico en frutales caducifolios y otras especies promueve el alargamiento de tallos; en frambuesa (*Rubus idaeus* L.) adelanta la floración y cosecha en plantas jóvenes (Calderón y Rodríguez, 1992); en bayas aumenta el tamaño, por consiguiente se obtiene mayor producción (Rademacher, 2015), en aguacate mejora el amarre (Barquera *et al.*, 2008), en zarzamora adelanta la floración (Galindo *et al.*, 2004) y en arándano incrementa la floración de retorno (Zang *et al.*, 2016).

Thidiazurón (TDZ)

El thidiazurón (TDZ), un compuesto sintético de tipo difenilurea (N-phenil N-1,2,3-thidiazol 5-ylurea) con actividad citocinínica y potencial para inducir la regeneración de células vegetales, ha sido ampliamente estudiado como regulador de crecimiento y ha ganado importancia en la producción de plantas *in vitro* (Guo *et al.*, 2011).

El TDZ estructuralmente distinto a la trans-zeatina (citocinina más abundante), a la kinetina (citocinina aromática artificial) y la benciladenina (citocinina natural), es una citocinina (CKs) de tipo difenilurea (Figura 4), la cual ejerce efectos análogos a la kinetina; debido a su síntesis basada en urea, le permite ser persistente en los tejidos y le posibilita inhibir la actividad de la

enzima citocinina oxidasa mediante una ruta no competitiva, la cual inactiva de manera irreversible las CKs y como resultado regula los efectos de esta hormona, o bien el TDZ puede competir formando unión con el receptor CRE1, de esta manera activa directamente la vía de respuesta de las CKs (Kieber, 2002).

Asimismo, el mecanismo de acción de TDZ está vinculado con la biosíntesis y transporte del ácido indol acético (AIA), pues las auxinas aplicadas de forma exógena pueden aumentar la actividad de la citocinina oxidasa e inhibir la síntesis de citocininas endógenas (Guo *et al.*, 2011).

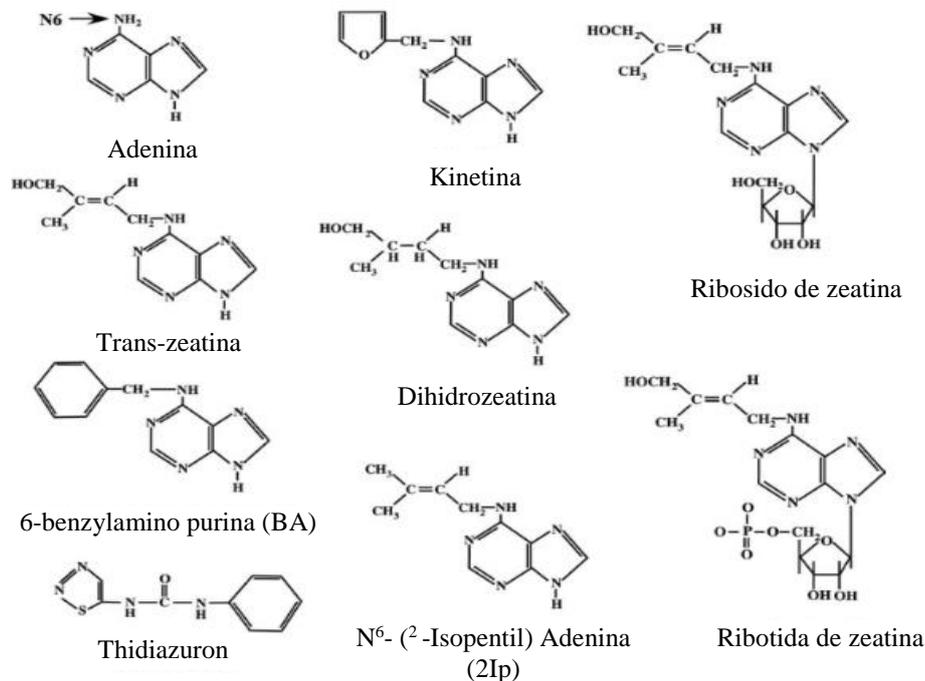


Figura 4. Estructura de las Citocininas (Kieber, 2002).

Las Cyt en plantas se ven involucrados en procesos de división celular en tejidos meristemáticos, proliferación de yemas axilares contrarrestando a las auxinas en la dominancia apical, la senescencia de hojas, el desarrollo de cloroplastos. Además, algunos efectos fisiológicos mediadas por TDZ, incluyen la germinación eficiente de semillas, brotación acelerada, inducción y estimulación de la brotación, crecimiento y desarrollo de cotiledones y formación de tricomas (Guo *et al.*, 2011).

Estudios realizados por Calderón y Rodríguez (1992) registran que la aplicación de TDZ a 200 mg L⁻¹ más citrolina al 2 %, realizada sobre genotipos de durazno *Prunus persica* L. logró estimular la floración en más del 80 %, respecto al testigo. Por otro lado, Wang *et al.* (1986) reporta que el TDZ favorece la actividad citocinínica, rompe el paraletargo y reduce el número de unidades frío para lograr la brotación en manzano. Reyes *et al.* (1998) encontraron que el TDZ y cianamida de hidrógeno aumentó la brotación, crecimiento vegetativo y tuvo mayor rendimiento en manzano cv. Citerion. Por otro lado, en ciruelo japonés (*Prunus salicina* L.), la aplicación de TDZ (50, 150 y 200 mg·L⁻¹) resultó tan efectiva como la cianamida de hidrógeno (5 ml·litro⁻¹) en adelantar la floración (Alvarado-Raya *et al.*, 2000). En plantas de manzano y clavel la aspersion de TDZ aumentó la ramificación (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Recientemente el TDZ solo o conjugado con otro regulador de crecimiento es empleado en la bioestimulación de embriogénesis somática en medios de cultivo (Nhurt *et al.*, 2006). La combinación de Cyt y giberelinas se ha utilizado para controlar la forma y tamaño de los frutos en algunas variedades de manzano (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Por su parte, en trabajos por Matsuo *et al.* (2012) encontraron una correlación entre el contenido de citocininas y el número de células del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum*) en crecimiento; de manera que esta hormona está más involucrada en la división que en la expansión celular, para determinar el tamaño del fruto. Esta hormona también participa en el crecimiento del pedicelo e influye en el transporte de agua, nutrientes y asimilados a la fruta (Matsuo *et al.*, 2012).

Ácido Glutámico

El glutamato, aminoácido de cinco carbonos, ocupa un papel importante en el metabolismo primario de plantas (Forde y Lea, 2007; Kan *et al.*, 2017). La asimilación del nitrógeno está directamente relacionada con el metabolismo del carbono, origina un flujo de carbono desde carbohidratos hasta aminoácidos, y uno de los compuestos derivados es el glutamato (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Kan *et al.*, 2017).

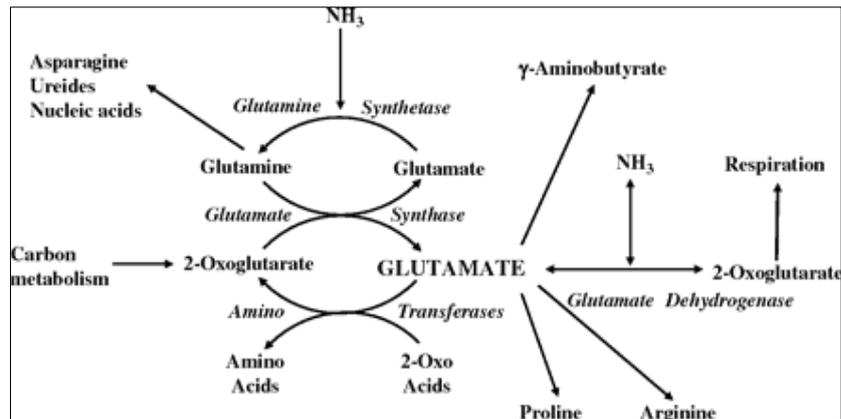


Figura 5. Vías de síntesis de glutamato y metabolismo en plantas (Forde y Lea, 2007).

Debido a la acción secuenciada de las enzimas nitrato reductasa y nitrito reductasa, el nitrógeno en forma de nitrato se reduce a amonio (dependiente de ATP), o bien este compuesto puede ser absorbido directamente del suelo, para luego ser incorporado en esqueletos de carbono para la formación de glutamina (compuesto transportador de nitrógeno), mediante la acción de la enzima glutamina sintasa (Kan *et al.*, 2017).

Así pues, la síntesis del glutamato inicia a partir de la acción de la enzima glutamato sintasa, también conocida como: glutamina: 2-Oxoglutarato amino-transferasa (GOGAT), la cual cataliza una transferencia que reduce el grupo amino de la glutamina al carbón dos (C2) del 2-oxoglutarato, para producir dos moléculas de glutamato (Forde y Lea, 2007). Una de las dos moléculas de glutamato formadas, transfiere su grupo amino a varios oxácidos y por medio de enzimas amino-transferasas se sintetizan otros aminoácidos como: prolina, arginina, serina, leucina y triptófano, entre otros (Azcón-Bieto y Talón, 2008). En resumen, existen dos rutas principales de síntesis del glutamato: a partir de glutamina con acción de glutamato sintasa o a través de aminoácidos por medio de aminotransferasas.

Por lo anterior, el ácido glutámico (GLU) juega un papel importante en el metabolismo y se considera un aminoácido funcional en las plantas. De manera que, el GLU actúa como una molécula señal (Forde y Lea, 2007), induce rápidamente la expresión de genes relacionados

con defensa y respuesta al estrés (Kan *et al.*, 2017) y es el precursor de la síntesis de clorofila en las hojas en desarrollo (Yaronskaya *et al.*, 2006).

Asimismo, el efecto del GLU exógeno resulta en la inducción de resistencia a enfermedades en el arroz, mejora la asimilación de nitrógeno y en consecuencia puede reflejar mayor rendimiento (Pérez, 2010). En estudios en hoja de tabaco reportan un efecto positivo en la fotosíntesis de la planta, debido a que incrementa la concentración de clorofila y presenta un efecto sobre la polinización y cuajado de frutos (Masclaux-Daubresse *et al.* 2006). En un genotipo específico de *arabidopsis*, el L-glutamato exógeno a concentraciones micromolar provocó inhibición del crecimiento de la raíz primaria y un aumento en la ramificación lateral cerca del ápice de la raíz (Walch-Liu *et al.*, 2006).

Triptófano

El aminoácido triptófano es considerado el principal precursor del ácido indol acético (AIA); es el precursor de un gran número de alcaloides que se caracterizan por la presencia de un núcleo indol. Frecuentemente, al anillo indol se incorporan una o dos unidades C5 derivadas del ácido mevalónico, lo que da lugar a alcaloides de estructura más compleja. Además, el anillo indol puede abrirse para originar, después de otra forma de cierre del anillo, el sistema quinolina, propio de algunos alcaloides de Chinchona, como la quinina (Azcón-Bieto and Talón, 2008).

La poda como práctica para promover brotación de yemas

El despunte de ramas permite eliminar la fuente apical de auxinas, de esta manera los niveles de citocininas en el entrenudo y el brote aumentan, lo que sugiere que las citocininas recién sintetizadas en el entrenudo se transportan al brote y promueven directamente el crecimiento de yemas, independientemente de la presencia de auxinas (Domagalska y Leyser, 2011; Rademacher, 2015).

Por otro lado, en plantas sin poda especialmente en plantas adultas las ramas primarias y, en consecuencia, las ramas productivas que de ella surgen, pierden progresivamente la capacidad de producción, ocasionada por doseles densos y bajo número de frutos hacia el centro, de manera que la poda en arándano es una práctica recomendada para promover un equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, con el objeto de optimizar el rendimiento y calidad de frutos (Retamales and Hancock, 2012; Williamson *et al.*, 2004). Además, ajusta las relaciones hoja: fruto y número de brotes, permite que la luz penetre en la parte baja del dosel y estimule la formación de flores (Rana *et al.*, 2011) y reduce las condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades.

Aunque una poda adecuada reduce la altura de la planta, el número de flores y, en consecuencia, se obtiene un menor rendimiento, se puede obtener frutos más grandes, maduración temprana y mayor estabilidad en los rendimientos (Williamson *et al.*, 2004). Lo anterior es contrario al efecto de podas de menor intensidad, pues en frutos disminuye el diámetro ecuatorial, el peso, el número de semillas y el porcentaje de sólidos solubles (Muñoz-Vega *et al.*, 2017); esto se denomina 'compensación de componentes' y es por eso que el tamaño de la baya responde a la intensidad de la poda (Retamales y Hancock, 2012).

Las podas realizadas en verano se emplean para estimular un fuerte crecimiento vegetativo (Williamson *et al.*, 2004) con brotes laterales largos y mayor número de yemas florales; sin embargo, puede retrasar el tiempo de cosecha (Albert *et al.*, 2010). Al respecto, el periodo de despunte afecta el resultado en crecimiento del brote, pues cuando la poda se realiza en el periodo de letargo, en invierno, el resultado es vigorizante, debido a la reducción de los puntos de crecimiento. En cambio, cuando la poda se hace en ramas con crecimiento vegetativo activo, el efecto es debilitante, debido a la disminución del área vegetativa que esta fotosintéticamente activa y contribuye a la acumulación de reservas.

A través del despunte de ramas de buen vigor, se estimula el desarrollo de brotes anticipados, aumentando la cantidad de yemas florales por planta (Williamson *et al.*, 2004). Sin embargo, la brotación anticipada depende del grado de inhibición de la yema posicionada bajo el corte y de la intensidad de la poda. De manera que, si la poda se realiza en la temporada ideal, resultan laterales largas, por el contrario, los cortes realizados en temporada tardía, las laterales resultantes son más cortas, asimismo, si los cortes son realizados en temporada muy tardía, brotan yemas florales en el lugar del corte. Además, la poda en verde se recomienda cuando se quiere estimular la emisión de anticipados, y debe realizarse sólo en brotes vigorosos pues brotes no vigorosos originarán anticipados cortos y débiles (Bañados *et al.*, 2007).

LITERATURA CITADA

- Albert T., Karp, K., Starast, M. and Paal, T. 2010. The effect of mulching and pruning on the vegetative growth and yield of the half-high blueberry. *Agronomy Research* 8: 759-768.
- Alvarado-Raya H., Rodríguez-Alcázar, J., Calderón-Zavala, G. y Elizabeth, C. S. 2000. El thidiazurón, la brotación floral y las dimensiones del ovario en ciruelo japonés (*Prunus salicina* L.) 'SHIRO'. *Agrociencia* 34: 321-327.
- Azcón-Bieto J. and Talón, M. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2nd ed. Madrid, España: Universitat de Barcelona.
- Bañados P., D. Donnay, y P. Uribe. 2007. Poda en Verde en Arándano. *Agronomía y Forestal* 31: 16-19.
- Bañados M. P. and Strik, B. 2006. Manipulation of the Annual Growth Cycle of Blueberry Using Photoperiod. *Acta Horticulturae* 715: 65-72.
- Barquera M. de la C. E., Medrano, R. C. and García, J. R. A. y P. S. 2008. Amarre de fruto en aguacate 'Hass' con aplicaciones de AG₃, N y anillado. *Agricultura Técnica en México* 34: 407- 419.
- Bouska C., Dixon, E. and Strik, B. 2018. Growing Berries on the Oregon Coast: Raspberries and Blackberries: an overview. Extension Service Department of Agriculture, Oregon State University, U. S. EM9179.
- Bryla D. R. 2008. Water requirements of young blueberry plants irrigated by sprinklers, microsprays and drip. *Acta Horticulturae* 792: 135-139.

- Bryla D. R. and Shireman, A. D. 2010. Effects of method and level of nitrogen fertilizer application on soil pH, electrical conductivity, and availability of ammonium and nitrate in Blueberry. *Acta Horticulturae* 868: 95-101.
- Bryla D. R., Gartung, J. L. and Strik, B. C. 2011. Evaluation of irrigation methods for highbush blueberry-I. growth and water requirements of young plants. *HortScience* 46: 95-101.
- Cabrera J. C., R. Gómez, E. Diosdado, V. Hormaza J., R. Iglesias, A. Gutiérrez y S. González. 2003. Procedimiento de obtención de una mezcla de oligosacáridos pécticos estimuladora del enraizamiento vegetal. CU:22859.
- Calderón Z. G., and A. J. Rodríguez.1992. Respuesta de la frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) 'Heritage' a aspersiones de ácido giberélico en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 15:85-94.
- Díaz-Montenegro D. H. 2002. Fisiología de árboles frutales. México. Editorial A.G.T. 121 p.
- Domagalska, M. A. and Leyser, O. 2011. Signal integration in the control of shoot branching. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 12:211–221.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura). 2017. FAOSTAT – Bases de datos de la FAO. Producción mundial de arándano. Consulta: enero 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>.
- Forde B. G. and Lea, P. J. 2007. Glutamate in plants: Metabolism, regulation, and signaling. *Journal of Experimental Botany* 58: 2339-2358.
- Galindo R. M., H. González, V. A. Muratalla, A. Lúa, H. Soto, and M. Livera. 2004. Producción forzada en zarzamora 'Comanche' mediante reguladores de crecimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10: 205-209.
- Galletta G. J., and D. G. Himelrick. 1990. Small fruit crop management. Blueberry Management. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Career & Technology. 600 pp.
- Gilbert J. L., J. W. Olmstead, T. A. Colquhoun, L. A. Levin, D. G. Clarck, and H. R. Moskowitz. 2014. Consumer-assisted selection of blueberry fruit quality traits. *HortScience* 49: 864-873.
- Gough R. E. 1997. Blueberries-North and South Blueberries- North and South. *Journal of Small Fruit & Viticulture* ISSN 4: 71-106.
- Gündüz K., Serçe, S. and Hancock, J. F. 2015. Variation among highbush and rabbiteye cultivars of blueberry for fruit quality and phytochemical characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis* 38: 69-79.
- Guo B., Abbasi, B. H., Zeb, A., Xu, L. L. and Wei, Y. H. 2011. Thidiazuron: A multi-dimensional plant growth regulator. *African Journal of Biotechnology* 10:8984-9000.

- Harberd, N. P., Belfield, E. and Yasumura, Y. 2009. The Angiosperm Gibberellin-GID1-DELLA Growth Regulatory Mechanism: How an ‘Inhibitor of an Inhibitor’ Enables Flexible Response to Fluctuating Environments. *The Plant Cell Online* 21: 1328-1339.
- Hedden P. and Proebsting, W. M. 1999. Update on Development Genetic Analysis of Gibberellin Biosynthesis 1. *Plant Physiology* 119: 365-370.
- Holzapfel E., Jara, J. and Coronata, A. M. 2015. Number of drip laterals and irrigation frequency on yield and exportable fruit size of highbush blueberry grown in a sandy soil. *Agricultural Water Management* 148:207-212
- Inada S., Tominaga, M. and Shimmen, T. 2000. Regulation of root growth by gibberellin in *Lemna minor*. *Plant and Cell Physiology* 41: 657–665
- induced colon carcinogenesis model in rats. *Clinical Cancer Research* 13: 350-355.
- Kalt W., J. E. McDonald, and H. Donner. 2000. Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity of processed lowbush blueberry products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65:390-393.
- Kan C. C., Chung, T. Y., Wu, H. Y., Juo, Y. A. and Hsieh, M. H. 2017. Exogenous glutamate rapidly induces the expression of genes involved in metabolism and defense responses in rice roots. *BMC Genomics* 18: 1–17
- Kieber J. J. 2002. Cytokinins, *in* The Arabidopsis. American Society of Plant Biologists.
- Kovaleski A. P., Williamson, J. G., Olmstead, J. W. and Darnell, R. L. 2015. Inflorescence Bud Initiation, Development, and Bloom in Two Southern Highbush Blueberry Cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 140: 38-44.
- Kudo T., Kiba, T. and Sakakibara, H. 2010. Metabolism and long-distance translocation of cytokinins. *Journal of Integrative Plant Biology* 52: 53-60.
- Lester D. R., Ross, J. J., Davies, P. J. and Reid, J. B. 2007. Mendel’s Stem Length Gene (*Le*) Encodes a Gibberellin 3b-Hydroxylase. *The Plant Cell* 9:1435.
- Loera-Alvarado M. E., Calderón-Zavala, G., Sánchez-García, P. y Rebollar-Alvíter, A. 2017. Aspersión de thidiazurón y ácido giberélico combinado con poda sobre fenología del arándano (*Vaccinium* spp.). *Agroproductividad* 10: 121-127.
- Matsuo S., K. F. ikuchi, M. ukuda, I. Honda, and S. Imanishi. 2012. Roles and regulation of cytokinins in tomato fruit development. *J. Exp. Bot.* 63: 695-709.
- Muñoz-Vega P., Paillán, H., Serri, H., Donnay, D., Sanhueza, C., Merino, E. and Hirzel, J. 2016. Effects of organic fertilizers on the vegetative, nutritional, and productive parameters of blueberries ‘Corona’, ‘Legacy’, and ‘Liberty’. *Chilean Journal of Agricultural Research* 76: 201-212.

- Muñoz-Vega P., Serri, H., López, M. D., Faundez, M. and Palma, P. 2017. Efecto de diferentes intensidades de poda sobre el rendimiento y calidad de fruta en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences 33:0-0.
- NeSmith D. S. 2002. Response of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) to the growth regulators CPPU and gibberellic acid. HortScience 37: 666-668.
- Nesmith D. S. 2008. Use of Plant Growth Regulators in Blueberry Production in the Southeastern U.S. International Journal of Fruit Science 5: 41-54.
- Nhurt D.T., N. T. Hahn, P. Q. Tuan, T. M. Nguyet, N. T. Tram, N. C. Chinh, N. H. Nguyen, and D. N. Vinh. 2006. Liquid culture as a positive condition to induce and enhance quality and quantity of somatic embryogenesis of *Lilium longiflorum*. Sci. Hortic. 110: 93-97.
- Pérez-Barraza M. H., Osuna-Enciso, T., Gutiérrez-Espinosa, M. A., De Jesús Santiago-Cruz, M., Avitia-García, E. and Cano-Medrano, R. 2015. Thidiazurón y ácido giberélico en amarre y tamaño de frutos de Mango ‘Ataulfo’ polinizados y partenocárpicos. Interciencia, 40: 677-683.
- Pescie M., Lovisolo, M., De Magistris, A., Strik, B. and López, C. 2011. Flower bud initiation in southern highbush blueberry cv. O’Neal occurs twice per year in temperate to warmtemperate conditions. Journal of Applied Horticulture 13: 8-12.
- Petridis A., Van Der Kaay, J., Chrysanthou, E., McCallum, S., Graham, J. and Hancock, R. D. 2018. Photosynthetic limitation as a factor influencing yield in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*) grown in a northern European environment. Journal of Experimental Botany 69: 3069-3080.
- Phinney B. O. 1956. Growth response of single-gene dwarf mutants in maize to gibberellic acid. Proc. Natl. Acad. Sci. 42:185-189.
- Prior R. L., S. E. Wilkes, T. R. Rogers, R. C. Khanal, X. L. Wu, and L. R. Howard. 2010. Purified blueberry anthocyanins and blueberry juice alter development of obesity in mice fed an obesogenic high-fat diet. Journal of Agricultural & Food Chemistry 58:39-70.
- Rademacher W. 2015. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. Journal of Plant Growth Regulation 34: 845-872.
- Rana V. S., Basar, J. and Rehalia, A. S. 2011. Effect of time and severity of summer pruning on the vine characteristics, fruit yield and quality of kiwifruit. Acta Horticulturae 913: 393-400.
- Retamales J. B. and Hancock, J. F. 2012. Blueberries. 2nd ed. Wallingford: CABI.

- Reyes L., A., D. L. Garza, y H. H. García. 1998. Efecto del TDZ y CPPU como nuevos compensadores de frío en manzano de altos requerimientos de frío. Memorias del XVII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. México. p. 68.
- Rieu I., Eriksson, S., Powers, S. J., Gong, F., Griffiths, J., and Woolley, L. 2008. Genetic Analysis Reveals That C19-GA 2-Oxidation Is a Major Gibberellin Inactivation Pathway in Arabidopsis. *The Plant Cell Online* 20:2420-2436.
- Romero C. A., y E. H. Vargas. 2016. El arándano en el Perú y el Mundo. 1st ed. Lima, Perú: Riego. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú. 41p.
- SADER 2018. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. México. 10p. <https://www.inforural.com.mx/estados-unidos-principal-comprador-de-arandanos-mexicanos/>, consulta: agosto, 2019).
- Salvo S., Muñoz, C., Ávila, J., Bustos, J., Cariaga, E., Silva, C. and Vivallo, G. 2011. Sensitivity in the estimation of parameters fitted by simple linear regression models in the ratio of blueberry buds to fruits in Chile using percentage counting. *Scientia Horticulturae*, 130: 404-409.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 41p. Consulta: enero 2019.
- Song G. qing, Walworth, A., Zhao, D., Jiang, N. and Hancock, J. F. 2013. The *Vaccinium corymbosum* flowering locus t-like gene (VcFT): A flowering activator reverses photoperiodic and chilling requirements in blueberry. *Plant Cell Reports* 32: 1759-1769.
- Spann T. M., Williamson, J. G. and Darnell, R. L. 2004. Photoperiod and temperature effects on growth and carbohydrate storage in southern highbush blueberry interspecific hybrid. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129: 294-298.
- Strik B. C. and Finn, C. E. 2008. Blueberry cultivar for Oregon, 1 (March), pp. 4–9.
- Su Y. H., Liu, Y. B. and Zhang, X. S. 2011. Auxin-cytokinin interaction regulates meristem development. *Molecular Plant* 4: 616–625.
- Suh N., S. Paul , X. Hao, B. Simi, H. Xiao, and A. M. Rimando. 2007. Pterostilbene, an active constituent of blueberries, suppresses aberrant crypt foci formation in the azoxymethane. *Clin Cancer Res* 13:350-5.
- Taiz L. and Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*.
- Takahashi N., I. Yamaguchi, And S. Yamane. 1986. Gibberellins. In: *Chemistry of Plant Hormones*. Takahashi, N. (ed.). CRC Press, INC. Boca Raton, Florida, USA. pp. 57-151.

- Tanaka M., Takei, K., Kojima, M., Sakakibara, H. and Mori, H. 2006. Auxin controls local cytokinin biosynthesis in the nodal stem in apical dominance. *Plant Journal* 45: 1028-1036.
- Walch-Liu P., Liu, L. H., Remans, T., Tester, M. and Forde, B. G. 2006. Evidence that L-glutamate can act as an exogenous signal to modulate root growth and branching in *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology* 47: 1045-1057.
- Wang S.Y., G. L. Steffens, and M. Faust. 1986. Breaking bud dormancy in apple with a plant bioregulator, thidiazuron *Biochemistry* 25: 311-317
- Williamson J. G. and Lyrene, P. M. 2004. Reproductive Growth and Development of Blueberry. *Universidad de Florida, Horticultural Sciences HS976:1-7.*
- Williamson J. G. and D. S. NeSmith. 2007. Effects of CPPU applications on southern highbush blueberries. *HortScience* 42: 1612-1615.
- Williamson J. G., F. S. Davies, and P. M. Lyrene, 2004. Pruning Blueberry. *Plants in Florida* 1:1-5.
- Yang C., J. Wang, C. L. Chen, P. Sun, S. W. Dong, Q. Liu, Q. Liang, and T. W. Liao. 2019. Agronomic traits and quality properties analysis of different blueberry cultivars. *Journal of Southern Agriculture* 50: 788-794.
- Yang G, J. Yue, X. Gong, B. Qian, H. Wang, Y. Deng, and Y. Zhao. 2014. Blueberry leaf extracts incorporated chitosan coatings for preserving postharvest quality of fresh blueberries. *Postharvest Biology and Technology* 92:46-53.
- Yaronskaya E., Vershilovskaya, I., Poers, Y., Alawady, A. E., Averina, N. and Grimm, B. 2006. Cytokinin effects on tetrapyrrole biosynthesis and photosynthetic activity in barley seedlings. *Planta* 224:700-9.
- Yeager T. H., Fare, D., Lea-Cox, J., Ruter, J., Bilderback, T. E., Gilliam, C.H., Niemiera, S.L. Warren, T. E. Whitwell, R.D. Wright, and K.M. Tilt. 2007. Best management practices: guide for producing container-grown plants. 2 ed. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, GA, USA.
- Yuan Z. H. 2003. Production history and development tendency of blueberry in the world. *Deciduous Fruits* 1:49-52
- Zang Y. X., Chun, I. J., Zhang, L. L., Hong, S. B., Zheng, W. W. and Xu, K. 2016. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. *Scientia Horticulturae* 200:13-18.
- Zhao X. L. 2011. Research progress of ingredient and healthy function of blueberry. *Chinese Wild Plant Resources* 30:19-23.

CAPÍTULO I. PODA APICAL Y BIORREGULADORES EN LA BROTAÇÃO FLORAL, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO EN ARÁNDANO ‘BILOXI’

Yennyfer Alexandra Peña-Rico, Guillermo Calderón-Zavala, Javier Suárez-Espinosa y

Eduardo García-Villanueva

1.1. RESUMEN

El potencial de exportación de arándano (*Vaccinium* spp.) en México puede aprovecharse con el desarrollo de sistemas de producción que incrementen la brotación de yemas reproductivas de ramas laterales y con la cosecha de frutos en épocas de mayor demanda. Con este propósito, en el año 2018 se llevó un estudio en condiciones de invernadero, en Montecillo, Estado de México. El diseño fue factorial, con 15 tratamientos, tres intensidades de poda (0, 10 y 20 %) y cinco mezclas de biorreguladores (TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; B1: tiamina; TRP: triptófano), durante un ciclo de producción. Las variables evaluadas fueron brotación de yemas laterales, dinámica de floración y producción, número de flores e inflorescencias, rendimiento y calidad de fruto de arándano ‘Biloxi’. La aplicación de TDZ (100 mg L⁻¹) combinado con AG₃ (25 mg L⁻¹) promovió la brotación de yemas (35 %), pero disminuyó el número de yemas fructificantes, flores abiertas e inflorescencias. Las podas severas (20 %) disminuyeron el número de yemas brotadas, el número de flores, inflorescencias, atrasaron la floración y, como consecuencia, disminuyeron el rendimiento. La mezcla de GLU (150 mg L⁻¹) más B1(150 mg L⁻¹), sin poda, incrementó el número de flores y el rendimiento. Ningún tratamiento mejoró los parámetros de calidad de frutos como: peso fresco, firmeza, sólidos solubles totales, y antocianinas.

Palabras clave: *Vaccinium corimbosum* L, aminoácidos, biorreguladores, poda en verde

**APICAL PRUNING AND BIORREGULATORS ON FLOWER SPROUTING,
YIELD AND QUALITY OF FRUIT IN BLUEBERRY 'BILOXI'**

Yennyfer Alexandra Peña-Rico, Guillermo Calderón-Zavala, Javier Suárez-Espinosa y

Eduardo García-Villanueva

1.2. ABSTRACT

The export potential of blueberries (*Vaccinium* spp.) in Mexico can be exploited with the development a technic that increase the sprouting of reproductive buds of lateral branches and with the harvest of fruits in times of greatest demand. With this purpose, in 2018, a study was carried out in greenhouse conditions, in Montecillo, State of Mexico. The design was factorial, with 15 treatments, three pruning intensities (0, 10 and 20%) and five mixtures of bioregulators (TDZ: thidiazuron; AG₃: gibberellic acid; GLU: glutamic acid; B1: thiamine; TRP: tryptophan), during a production cycle. The variables evaluated were sprouting of lateral buds, flowering and production dynamics, number of flowers and inflorescences, yield and quality of blueberry fruit 'Biloxi'. The application of TDZ (100 mg L⁻¹) combined with AG₃ (25 mg L⁻¹) promoted the sprouting of buds (35%), but decreased the number of fruiting buds, open flowers and inflorescences. Severe pruning (20%) decreased the number of sprouted buds, the number of flowers, inflorescences, delayed flowering and, therefore, decreased yield. The mixture of GLU (150 mg L⁻¹) and B1 (150 mg L⁻¹), without pruning, increased the number of flowers and yield. No treatment improved fruit quality parameters such as: blueberry weight, firmness, total soluble solids, and anthocyanins.

Keywords: *Vaccinium corimbosum* L, amino acids, bioregulators, pruning in green

1.3.INTRODUCCIÓN

El arándano (*Vaccinium* spp.) es una especie que destaca por sus propiedades sensoriales y presencia de polifenoles, que proporcionan capacidad antioxidante (Kalt *et al.*, 2001; Retamales y Hancock, 2012). En el mundo, Estados Unidos es el mayor productor e importador de arándanos, seguido de Canadá y Chile. México ocupó el cuarto lugar en producción, con alrededor de 40 000 t en el año 2018. En Canadá y EE.UU. se cosecha de junio a octubre. En México, el arándano (tipo ‘Southern highbush’), tiene dos periodos de inducción floral: primavera y verano, los cuales resultan en múltiples cosechas en un año (Retamales y Hancock, 2012); en consecuencia, este país tiene potencial para exportar a EE.UU. en la temporada de baja producción que coincide con mejores precios (Romero, 2016).

Los arándanos tipo ‘Southern highbush’ son híbridos entre *Vaccinium corimbosum* L, *V. angustifolium*, *V. ashei*, *V. tenellum* y *V. darrowi*. (Spiers y Stringer, 2002). La variedad ‘Biloxi’ (1998 – Mississippi), perteneciente a este grupo, es un arbusto con floración temprana y tiene un requerimiento de frío de 400-500 h; debido a esto, puede adaptarse a una gama amplia de condiciones climáticas y a sistemas de cultivo de hoja perenne o siempre verde (Retamales y Hancock, 2012).

Uno de los problemas del cultivo, es que la producción de frutos se concentra en los ápices de las ramas; además, presenta una floración prolongada y, en consecuencia, periodos largos de cosecha. Por ello, es importante comprender los procesos fisiológicos que regulan el letargo, la inducción (IF) y la diferenciación floral (DF), así como el desarrollo del fruto (Bañados y Strik, 2006). La IF en arándano tipo ‘highbush’ inicia de la yema apical hacia la basal (Bañados y Strik, 2006; Kovalski *et al.*, 2015); la temperatura y el fotoperiodo influyen en la IF y posterior diferenciación, además intervienen en la apertura floral y calidad de fruto. Hall *et al.* (1970) encontraron que plantas de arándano tipo ‘southern highbush’ expuestas a 21°C y 8 h luz presentaron una buena IF y mejor brotación de yemas. Asimismo, Spann *et al.* (2004)

indican que en arándano ‘Mitsy’, las altas temperaturas (28 °C) disminuyen la inducción floral, mientras que las temperaturas medias (21 °C) promueven una mayor diferenciación floral (Hall *et al.*, 1970). Es decir, en general, se ha encontrado que las condiciones ambientales que promueven la IF determinan el número de yemas florales por planta, y por consiguiente, el número de frutos por planta, el cual, en combinación con el peso fresco de éstos, son los dos componentes más importantes del rendimiento en arándano (Salvo *et al.*, 2011).

Se pretende inducir la brotación de yemas florales mediante el uso de biorreguladores, como thidiazurón (TDZ), ácido giberélico (AG₃), aminoácidos y vitaminas, los que, combinados con podas en verde, apical, se espera que aumenten el número de brotes de yemas laterales, adelanten la floración y la fructificación, y así la cosecha se pueda efectuar en épocas de mayor demanda.

El TDZ induce la regeneración de células y se ha aplicado *in vitro* en *Ipomoea batatas* L. cv. Brondal (Masekesa *et al.*, 2016), *Jatropha curcas* (Kumar y Reddy, 2012) y *Acer platanoides* L. (Linden y Riikonen, 2006), entre otras. En frutales, por su efecto similar al de citocininas, el TDZ se utiliza para finalizar el letargo en yemas de manzano (*Malus domestica* Bork) (Wang *et al.*, 1986) y adelantar la floración en ciruelo japonés (*Prunus salicina*) (Alvarado-Raya *et al.*, 2000).

La aplicación foliar de AG₃ aumentó el rendimiento al incrementar el tamaño de las bayas, y retrasó la cosecha en arándano tipo ‘southern highbush’ (Williamson *et al.*, 2004). El uso de esta hormona en concentración de 500 mg/L aumentó la altura de la planta e incrementó la brotación floral de un segundo ciclo de producción en tres cultivares de arándano rabbiteye (Zang *et al.*, 2016); además, en combinación con TDZ (50mg/L) incrementó el amarre inicial en mango ‘Ataulfo’ (Pérez-Barraza *et al.*, 2015).

En lo que respecta al ácido glutámico, su aplicación foliar favorece la formación de clorofila b, y aumenta el rendimiento en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), al incrementar la

actividad de la enzima glutamina sintetasa (Serna-Rodríguez *et al.*, 2011). Por su parte, el triptófano, precursor de las auxinas, participa en la regulación y respuestas al estrés; aplicaciones foliares reducen el estrés por sequía en maíz (*Zea mays*) (Rao *et al.*, 2012) y por salinidad en girasol (*Helianthus annuus* L) (El-Bassiouny y Abdel-Monem, 2016). El uso de este aminoácido aumenta significativamente los componentes de rendimiento en okra (*Abelmoschus esculentus* L.), (Mustafa *et al.*, 2016), incrementa el tamaño de frutos en mandarina (*C. reticulata*) (Khuong *et al.*, 2010) y aumenta el contenido de carotenoides, azúcares solubles totales y aminoácidos libres en hojas de filodendro (*Philodendron erubescens*) (Abou-Dahab y El-Aziz, 2006).

La poda en arándano reduce el porte de la planta y disminuye el rendimiento de la temporada siguiente, no obstante, si se realiza correctamente se obtiene mayor tamaño de fruto (Retamales y Hancock, 2012).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la brotación de yemas reproductivas, dinámica de floración, producción, rendimiento y la calidad de fruto al aplicar biorreguladores y diversas intensidades de poda apical en arándano cv. 'Biloxi'.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal

La investigación se estableció en un invernadero ubicado en Montecillo, Edo. de México (19° 28' 4.26" N, 98° 53' 42.18" W) a una altitud de 2250 m. Se emplearon 60 plantas de arándano cv. Biloxi, de 3 meses de edad y altura promedio de 40 cm provenientes de un vivero comercial establecido en el norte del estado de Guanajuato. El trasplante se efectuó en recipientes de plástico soplado con capacidad de 26.5 L, el 7 de noviembre del año 2017; como sustrato se utilizó perlita, peat moss y tezontle, en relación 1:1:1. La distancia de plantación fue de 1.0 m entre filas y 40 cm entre plantas.

Se utilizó un sistema de fertirriego a partir del trasplante con un gasto diario de 2 L/planta durante 10 meses. Se aplicó una solución nutritiva de Steiner modificada, formulada a 25 %: Se usaron los productos: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato monopotásico, sulfato de amonio y Tradecorp AZ[®], como fuente de micronutrientes. Se procuró que el pH de la solución estuviera siempre entre 4.5 y 5.5 con H₂SO₄, y se mantuvo un sistema de producción siempre verde. Durante la primera semana de cada mes, el riego por goteo fue solamente con agua acidificada para realizar un lavado de sales para evitar su acumulación en el sustrato. Asimismo, se procuró una conductividad eléctrica menor de 1.5 dS/m.

Se registraron datos de temperatura máxima, mínima y media, de abril a octubre de 2018, dentro del invernadero mediante un data logger HOBO con frecuencia de registro de 30 min.

Tratamientos

Se aplicaron 15 tratamientos resultado de la combinación factorial de tres intensidades de poda (despunte de ramas laterales) y 5 mezclas de biorreguladores (Cuadro 1).

Cuadro 1. Combinación de biorreguladores (TDZ, AG₃, GLU, B1 y TRP) con intensidades de poda de despunte aplicados a plantas de arándano ‘Biloxi’ en invernadero en Montecillo, Edo. de México.

Factor principal	Nivel	Mezclas de biorreguladores				
		TDZ (mg L ⁻¹)	AG ₃ (mg L ⁻¹)	GLU (mg L ⁻¹)	B1 (mg L ⁻¹)	TRP (mg L ⁻¹)
Biorreguladores	1	100	25	150	-	-
	2	100	25	150	150	-
	3	-	-	150	150	-
	4	100	25	150	150	150
	5	Sin aplicación de biorreguladores				
		Porcentaje de despunte apical				
Poda	1	20%				
	2	10%				
	3	0%				

TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; tiamina (vitamina B1); TRP: triptófano.

Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques generalizado, con un arreglo factorial 3 x 5 con cuatro repeticiones; una planta como unidad experimental. A los cinco meses después del trasplante, se observó un número irregular de ramas en las plantas, por lo que se decidió agruparlas en dos bloques homogéneos, con dos repeticiones en cada uno; en el primer bloque las plantas tuvieron tres ramas laterales y en el segundo cuatro ramas laterales.

Cada planta se dividió en dos áreas de estudio: las ramas laterales (de mayor vigor) y las ramas centrales (pequeñas de menor vigor). La poda sólo se aplicó en las ramas laterales, pero la aspersión de biorreguladores se hizo en toda la planta (ramas laterales y centrales).

Los tratamientos se iniciaron el 16 de abril de 2018, luego de corroborar, mediante disección de yemas laterales, que el porcentaje de yemas con diferenciación floral era de 70 % o más; inmediato a la poda de despunte se aplicaron las dosis respectivas de TDZ, AG₃, GLU, TRP y B1, hasta el punto de goteo, quince días después se hizo una segunda aplicación. En ambas fechas se empleó una pantalla protectora para evitar asperjar plantas ajenas al tratamiento. Los biorreguladores se disolvieron por separado en agua destilada y luego se mezclaron, según la combinación. Se usó DAP Plus ® como surfactante y regulador del pH de la solución a asperjar (entre 5 y 6).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS Institute, 2012) y una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

Variables respuesta

Con objeto de definir el inicio de la aplicación de los tratamientos se dio seguimiento al desarrollo de la diferenciación floral de 36 yemas provenientes de 5 plantas representativas independientes (ajenas a las 60 ya referidas). En cada planta se seleccionaron dos ramas

laterales del flujo de crecimiento (primavera 2018) y de cada rama se disectó una yema por sección (basal, media y apical), en dos fechas: 5 y 9 de abril del año 2018; en cada caso se determinó la presencia o ausencia de diferenciación floral. El inicio de la aplicación de tratamientos fue cuando al menos 70 % de yemas presentaron diferenciación floral. El muestreo de las yemas se realizó dos semanas antes de la aplicación de los tratamientos.

Los porcentajes de brotación de yemas y número de inflorescencias se registraron en ramas laterales. Las variables de floración, calidad y rendimiento se registraron por separado tanto en las ramas laterales como en las centrales.

Ramas laterales

Al inicio de la aplicación de los tratamientos, se sumó el número de yemas de las diferentes ramas (3 ó 4) por planta. A los 155 días después de la aplicación de tratamientos (ddt), en cada planta se sumó el número de yemas brotadas en tales ramas y se calculó el porcentaje de brotación por planta mediante la proporción del total de yemas brotadas respecto del número de yemas iniciales. Asimismo, en esa fecha se sumó el número de inflorescencias de cada rama, para obtener el número de inflorescencias en ramas laterales por planta.

Ramas laterales y centrales

El conteo de flores por planta se inició desde que aparecieron las primeras (31 ddt) hasta los 155 ddt, a intervalos de cinco días. Con base en la dinámica de la floración y el número de flores se pronosticó el pico de cosecha.

Las variables de calidad (peso fresco, firmeza, sólidos solubles totales y antocianinas) se evaluaron en el pico de cosecha, en una muestra aleatoria de cinco frutos por planta. El peso fresco se determinó con una báscula electrónica portátil Ohaus (Scott II). La firmeza de la pulpa se midió con un penetrómetro (Chatillón DFE-050®; Ametek Instruments, Largo, FL, EE. UU.) adaptado con punzón cilíndrico de 6 mm de diámetro; la lectura se hizo en la parte ecuatorial del fruto y los datos se expresaron en Newtons (N). El contenido de sólidos solubles

totales se determinó en cuatro gotas de jugo por fruto, con un refractómetro digital (Atago PAL-1®; Atago Inc., Bellevue, WA, EE.UU.) con corrección de temperatura; las mediciones se expresaron en °Brix (AOAC, 1984).

En cada tipo de rama se registró la producción (peso de frutos en gramos) con una báscula digital Exccell a intervalos de 8 días durante el periodo de cosecha. El rendimiento fue el peso total de los frutos (suma de los muestreos) en ramas laterales + ramas centrales/planta, respectivamente; además se determinó el peso individual de frutos (g/fruto), resultado del cociente del peso total y número total de frutos cuantificado en ramas laterales y centrales.

La concentración de antocianinas se determinó en una muestra homogénea de 2 g de pulpa de los frutos del muestreo en el pico de cosecha, por el método propuesto por Jiang *et al.* (2001). El manejo de las muestras se llevó a cabo en obscuridad, a una temperatura de 23 °C, después se evaluaron en un espectrofotómetro a 533 nm. Se utilizó solución extractora como blanco y el contenido de antocianinas totales se calculó con la fórmula propuesta por Trujillo *et al.* (2009).

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las temperaturas promedio mensuales mínima, media y máxima durante el periodo de evaluación (abril a octubre de 2018) dentro del invernadero oscilaron entre 10 y 42°C. La temperatura media durante la etapa reproductiva (mayo-octubre) fue de 20-22°C, se observó una extrema diferencia de temperatura de 32°C entre la máxima y mínima en el mes de julio, y a finales de agosto durante la primera cosecha la temperatura media se registró en 21°C (Figura 6).

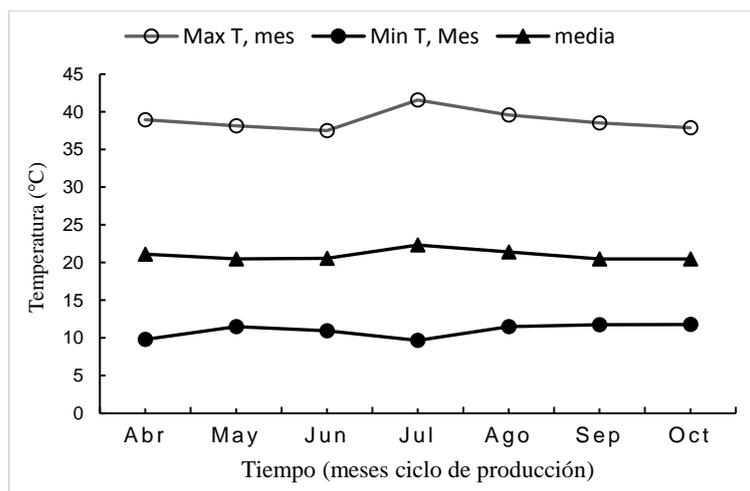


Figura 6. Temperaturas máximas, mínimas y media mensuales de abril a octubre de 2018, registradas dentro del invernadero en Montecillo, Edo. de México

Las temperaturas máximas promedio registradas (38-42 °C) superaron el rango de temperatura óptima para arándano tipo southern highbush (SHB), el cual oscila entre 14 a 26°C (Moon *et al.*, 1987), mientras que las temperaturas medias se encuentran dentro del rango: 20 a 22 °C. De manera que, dentro del invernadero en el transcurso de las 12:00 y 15:00 horas del día, se pudieron presentar condiciones adversas para el crecimiento del cultivar Biloxi.

Al respecto, las altas temperaturas del aire (>28 °C) afectan la tasa fotosintética y desarrollo reproductivo (crecimiento del tubo polínico) (Roden y Ball, 1996; Javed *et al.*, 2014). Spann *et al.* (2004) encontraron que las temperaturas altas ya referidas reducen la inducción de yemas florales en arándano cv. Mitsy, incluso cuando los cultivares SHB están expuestos a fotoperiodos cortos; mientras que las temperaturas medias (21 °C) promueven una mayor diferenciación floral (Hall *et al.*, 1970), mejoran la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico, lo que propicia el amarre del fruto.

Los efectos de las temperaturas elevadas durante la última fase de crecimiento de fruto pueden afectar la calidad del mismo, al disminuir la firmeza de la baya, sobre todo si el estado hídrico de la planta no es el adecuado (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Además, el efecto sobre la disminución de las tasas fotosintéticas y el aumento de las tasas de respiración genera una disminución en los carbohidratos disponibles para el fruto y, por lo tanto, una reducción en el

contenido de azúcar soluble (Darnell, 2000). De esta manera, la temperatura también afecta la composición de los metabolitos secundarios en las frutas (Karppinen *et al.*, 2016). En general, las temperaturas más frías, de 12°C favorecen la biosíntesis de compuestos fenólicos y vitamina C (Lee y Kader, 2000; Koshita, 2015; Uleberg *et al.* (2012), mientras que el contenido de antocianinas se incrementa en condiciones con 18 °C Uleberg *et al.* (2012).

Muestreo de yemas con presencia o ausencia de diferenciación floral

En el primer muestreo (5 de abril del 2018) hubo ausencia de diferenciación floral en yemas basales, las yemas se encontraban en estado vegetativo; 35 % de las yemas de la zona media tenían algún grado de diferenciación, pero también se observaban primordios foliares puntiagudos y el meristemo apical aplanado; y el 100 % de las yemas de la zona apical estaban diferenciadas, en las cuales se observaron yemas múltiples rodeadas de primordios de hipsófilos con ápices redondeados. Estos datos corroboran que la diferenciación es basipétala (Kovaleski *et al.*, 2015).

En las yemas vegetativas los primordios foliares que se observaron presentan el ápice redondeado, por lo tanto, se trata de primordios de nomófilos además, en su meristemo apical se observó el domo convexo; en cambio en las yemas diferenciadas hacia reproductivas los primordios foliares que se observaron presentaron el ápice acuminados (puntiagudos), es decir se trata de hipsófilos y su meristemo presentó la forma del ápice aplanada (Ever *et al.*, 2008).

En el muestreo del 9 de abril de 2018, el 65 % de yemas basales mostraron evidencias de diferenciación, y todas las yemas de la parte media y apical presentaron iniciación y diferenciación floral; además, en la fracción apical se registró alargamiento de los entrenudos. En consecuencia, los tratamientos iniciaron el 14 de abril de 2018 y los muestreos de la respuesta en brotación el 10 de mayo del 2018 (Figura A1).

Brotación de yemas

En general, cuando no se podó o el despunte fue leve se produjo mayor porcentaje de brotación de yemas que en la poda severa. El efecto individual de la aplicación de cuatro o cinco biorreguladores superó el porcentaje de yemas brotadas de la aplicación de GLU + B1 (Cuadro 2). En cuanto a la interacción entre podas y biorreguladores, la mayor brotación (35%) se registró en plantas sin poda con el tratamiento biorregulador que incluía TDZ + AG₃ + GLU + B1 (Cuadro 2), en contraste con el tratamiento de poda severa combinado con el regulador GLU + B1 (8%) ($p \leq 0.05$). Lo anterior sugiere que la combinación de TDZ y AG₃ promueve más la brotación de yemas; debido a que involucra efectos fisiológicos de división y elongación celular generados por la acción del ácido giberélico (Inada *et al.*, 2000) y el efecto del TDZ de promoción de división celular similar al de citocininas (Guo *et al.*, 2011).

Cuadro 2. Porcentaje de brotación a 82 ddt por efecto de los tratamientos en arándano ‘Biloxi’ en invernadero en Montecillo, México.

Tratamiento biorregulador (mg·L ⁻¹)	Porcentaje de yemas brotadas en ramas laterales			
	Poda 0%	Poda 10%	Poda 20%	Media
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150	11 b	21ab	11ab	14 B
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + B1 100	35 a	19ab	15ab	23 A
GLU 150 + B1 100	16 b	15b	8b	13 B
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150 + B1 100	20 ab	29a	18ab	22 A
Testigo (Sin biorreguladores)	20 ab	16ab	18a	18 AB
Media	20.4 A	20.0 A	14.0 B	

Medias con distinta letra mayúscula o minúscula en columnas e hileras son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; B1: tiamina; TRP: triptófano.

Resultados similares del efecto sinérgico de TDZ (100 - 250 mg·L⁻¹) y AG₃ (100 mg·L⁻¹), se observaron en zarzamora ‘Comanche’, al aumentar en 33 % el porcentaje de yemas brotadas, respecto al testigo (Galindo-Reyes *et al.*, 2004); además, incrementó el amarre inicial en mango ‘Ataulfo’ (Pérez-Barraza *et al.*, 2015). En diversas plantas, la aspersión de ácido giberélico

estimula el crecimiento y división celular en hojas, tallos y raíz (Bose *et al.*, 2013). Zang *et al.* (2016) encontraron que la aplicación de AG₃ en 500 mg·L⁻¹ aumentó la altura de la planta, el área de la hoja, el peso fresco y seco de la hoja, y el contenido de clorofila a y b, además incrementó la brotación floral de un segundo ciclo de producción en tres cultivares de arándano rabbiteye. Resultado debido al efecto de las giberelinas en el crecimiento de las plantas, al afectar el metabolismo de los carbohidratos y facilitar el movimiento de las citoquininas hacia los brotes en desarrollo (Salimi *et al.*, 2010).

Sin embargo, en el presente trabajo, en los brotes de plantas tratadas con TDZ (100 mg·L⁻¹) y AG₃ (25 mg·L⁻¹), se observó un desarrollo anormal, como: detención del crecimiento, entrenudos cortos, necrosis de yemas laterales, brotes arrossetados y clorosis ligera en tallos y hojas (Figura 7); es decir, estas concentraciones a pesar de promover la brotación de yemas causaron síntomas de fitotoxicidad, por lo que es pertinente evaluar concentraciones más bajas. Al respecto, Calderón-Zavala y Rodríguez-Alcázar (2000) observaron síntomas similares en durazno y ciruelo con aplicación de TDZ en concentración de 500 mg·L⁻¹.

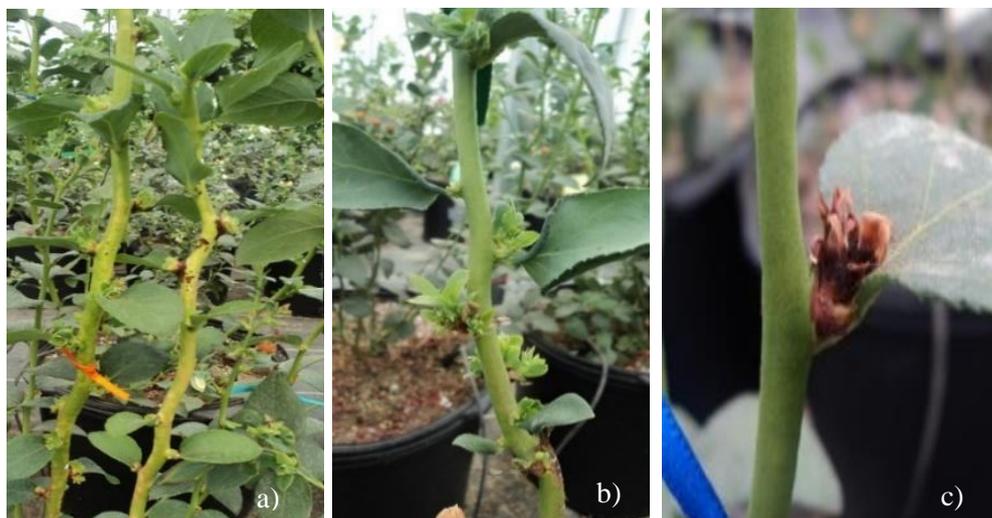


Figura 7. Aspecto de las plantas tratadas: a) 100% de yemas laterales brotadas en los tratamientos con TDZ, entrenudos cortos, clorosis; b) brotación arrossetada; c) yemas laterales necrosada en arándano ‘Biloxi’.

El efecto principal de la poda al 20% resultó en menor porcentaje de yemas brotadas que la poda al 10 y 0% (Cuadro 2), lo que coincide con los resultados de Theron *et al.* (2011) quienes

señalan que podas de despunte redujeron la brotación de yemas en plantas de higo 'Bourjasotte Noire' y 'Col de Damme'; en cambio, con la aplicación de 3 g·L⁻¹ de Lift ® (i.a. thidiazurón), ellos reportan un aumento en el número de brotes.

El bajo número de yemas brotadas difiere al resultado reportado por Bañados *et al.* (2009) quienes encontraron que la poda efectuada en verano en arándano SHB promueve brotes laterales e induce más yemas florales que el testigo. Williamson *et al.* (2004) y Bañados *et al.* (2007) indican que, a través del despunte de ramas, se estimula la brotación de yemas inhibidas correlativamente por la yema apical y, en consecuencia, aumenta la cantidad de yemas florales por planta. Sin embargo, la condición de la yema bajo el corte proporciona la capacidad de responder al despunte; de manera que, cortes realizados en temporada tardía la brotación de yemas es nula debido a que su grado de inhibición es avanzado (Bañados *et al.*, 2007). Por tanto, el resultado sugiere que la poda ejercida, se encuentra en temporada tardía y no promueve brotes anticipados en arándano 'Biloxi'.

Dinámica de floración

La aplicación de biorreguladores retrasó la floración en plantas con poda al 10 y 20% (Figura 8a, b), además, influyó en el número final de flores laterales/planta. En ramas laterales sin poda la apertura floral inició 31 ddt (Figura 8 c), mientras que en ramas con poda al 20 % inició a los 52 ddt. El periodo de floración duró 104 días y la última floración se registró el 29 de agosto de 2018 (135 ddt) en todos los tratamientos.

En general, las podas al 10 y 20% disminuyeron el número de flores abiertas en ramas laterales, resultado similar se observó con la aplicación de biorreguladores respecto al testigo ($p \leq 0.05$); es decir, el número de flores por lateral tiende a disminuir cuando se aplican los tratamientos: los mayores números de flores se observaron en las plantas no tratadas (Figura 8).

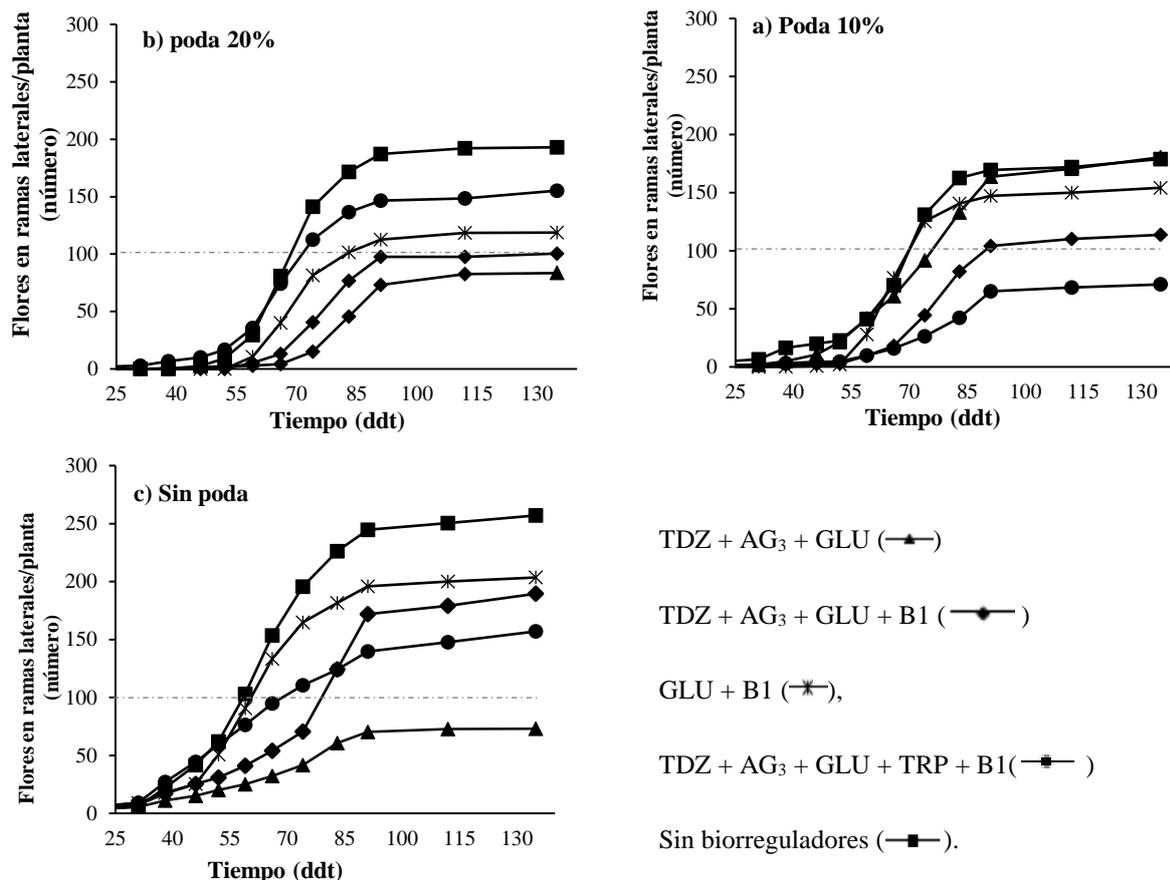


Figura 8. Dinámica de floración en ramas fructificantes de arándano ‘Biloxi’ después de la aplicación de tratamientos (ddt) con poda a 10% (a), 20% (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; tiamina (vitamina B1); TRP: triptófano. NS: No significativo.

En relación con la interacción entre podas y biorreguladores, la aspersión de GLU + B1 en ramas laterales sin poda resultó en un mayor número de flores abiertas (316); en cambio, la aplicación de tres biorreguladores en estas plantas produjo 103 flores abiertas ($p \leq 0.05$) y la aspersión de cinco biorreguladores en plantas con 10% de poda produjo solamente 72 flores abiertas al final de la evaluación (Cuadro 3). En plantas con poda al 10 y 20 % combinado con la aspersión de biorreguladores no hubo efecto significativo en el número de flores. Pero si hubo diferencia en relación con la variable número de inflorescencias en ramas laterales, con el factor poda, de manera que se registró en ramas con poda al 10 % (38) y 20% (29) menor número de inflorescencias respecto a ramas sin poda (51) ($Pr > F = 0.0006$).

Cuadro 3. Número total de flores abiertas (NTFA) en ramas laterales y centrales por planta en los tratamientos aplicados en arándano ‘Biloxi’ en invernadero.

Biorreguladores (mg L ⁻¹)	NTFA en ramas laterales				NTFA en ramas centrales
	Poda 0%	Poda 10%	Poda 20%	Media	Sin poda
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150	103b	183a	86a	124B	158bc
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + B1 100	255ab	140a	101a	165AB	122c
GLU 150 + B1 100	316a	154a	116a	195AB	270a
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150 + B1 100	186ab	72a	235a	164AB	166bc
Testigo (sin biorreguladores)	277a	185a	193a	218A	201b
Media	227A	147B	146B		

Medias con distinta letra mayúscula o minúscula en columnas e hileras son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; B1: tiamina; TRP: triptófano.

Por tanto, el resultado indica que el número de flores disminuye incluso con poda ligera de 10 %. al respecto, Jaimez *et al.* (2002) concluyeron que el número de flores de chile (*Capsicum chinense*) disminuyó por una mayor intensidad de poda lo que ocasionó menor rendimiento, pues, la reducción en el número de flores se debe al efecto debilitante que genera la poda; al eliminar hojas y brotes en fotosíntesis activa (Bañados *et al.* 2007).

La aspersión de biorreguladores, TDZ y AG₃ en ramas laterales y centrales promovió mayor brotación de yemas, pero no incrementó el número de flores e inflorescencias, contrario al testigo. Al respecto, se sugiere que la aspersión de thidiazurón, el cual ejerce efectos análogos a una citocinina natural, promovió brotación de yemas laterales al acumular citocininas endógenas. Lo anterior es debido a que el TDZ puede inhibir la actividad de la enzima citocinina oxidasa o bien compite por la unión con el receptor CRE1 (Kieber, 2002), y como resultado se activa directamente la vía de respuesta; de manera que las citocininas son transportadas hacia la yema axilar y probablemente en combinación con las giberelinas

aplicadas promueven crecimiento de la yema por división y elongación celular (Inada *et al.*, 2000).

Sin embargo, el TDZ inicialmente se empleó en la defoliación de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Arndt *et al.*, 1976) y se ha demostrado que tiene propiedad como herbicida, pues la abscisión foliar inducida por thidiazurón está mediada, al menos en parte, por un aumento en la concentración endógena de etileno, ácido abscísico y auxinas (Murthy *et al.* 1995; Yip y Yang 1986; Ji y Wang 1988; Hutchinson y Saxena 1996).

Thomas y Katterman (1986) demostraron que el estímulo en micropropagación provocado por el TDZ en división celular se satura a bajas concentraciones, con alta actividad alrededor de 10 pM (Pai y Desai, 2018) es decir una concentración alta de TDZ no causa elongación del brote y el efecto depende del genotipo (Zang *et al.*, 2016). Por tanto, el bajo número de inflorescencias en ramas laterales por planta y el menor número de flores por planta en esta investigación se debe al efecto fitotóxico por altas concentraciones de TDZ combinado con AG₃.

Contrario a los resultados observados en esta investigación, diversos trabajos muestran que el tratamiento con GA₃ en 500 mg L⁻¹ en tres cultivares de arándano rabbiteye, y en plantas de *Helleborus niger* y *Henckelia humboldtianus*, tuvieron mayor número de inflorescencias por planta y más flores por inflorescencias que las plantas testigo (Christiaens *et al.*, 2012; Sumanasiri *et al.*, 2013; Zang *et al.*, 2016).

Por otra parte, el mayor número de flores en ramas centrales se registró con la aspersion de GLU + B1 (270) diferente ($p \leq 0.05$) al testigo (201) (Cuadro 3), probablemente debido al efecto positivo en la fotosíntesis del ácido glutámico, que incrementa la concentración de clorofila y actúa en la polinización y cuajado de frutos (Masclaux-Daubresse *et al.* 2006).

Rendimiento y dinámica de producción

El periodo de cosecha en ramas laterales fue el mismo en todos los tratamientos (60 días) (Figura 9). En general, se observó un pico de producción en cada tratamiento de poda: en los tratamientos sin poda (Figura 9c) a los 155 ddt (18 de septiembre), y en los tratamientos con poda ocurrió a los 170 días de la aplicación (3 octubre) (Figura 9 a y b).

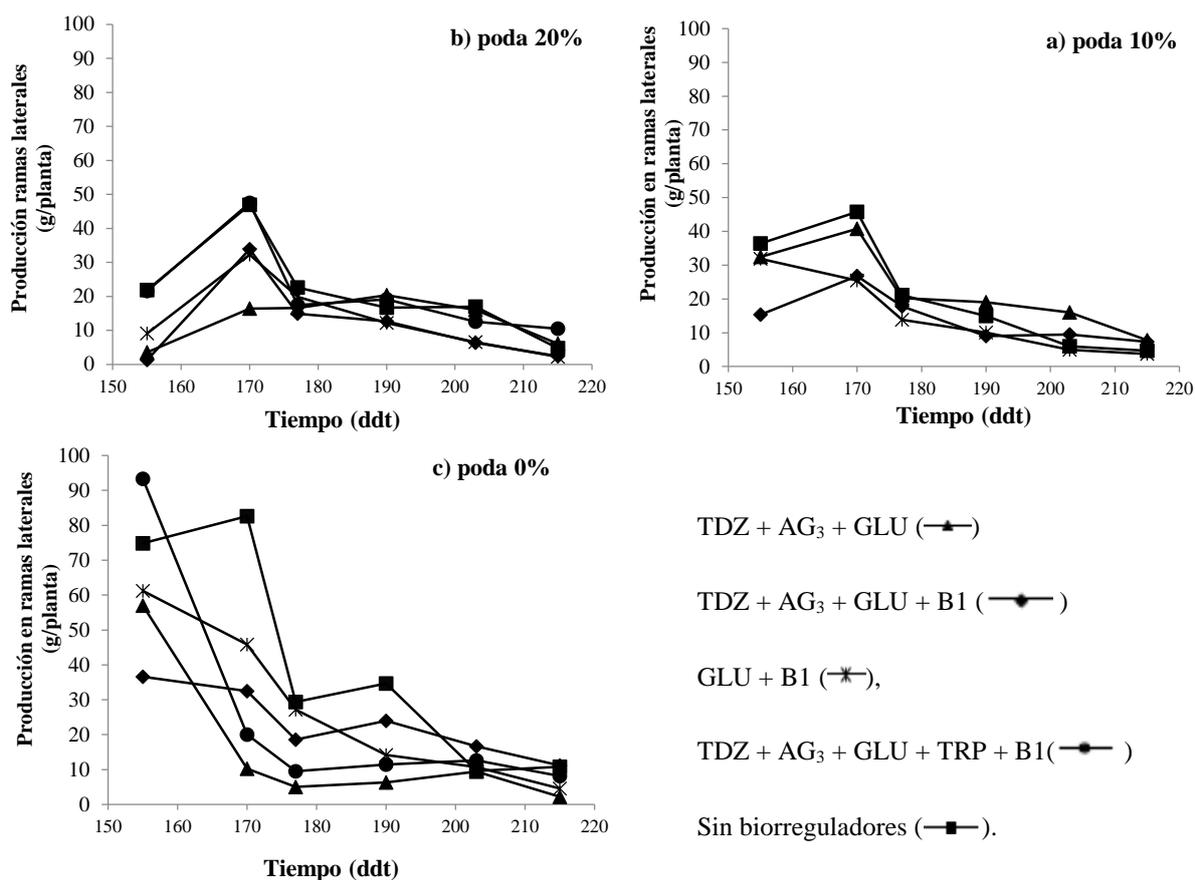


Figura 9. Dinámica de producción en ramas laterales/planta de arándano 'Biloxi' después de la poda a 10 % (a), 20 % (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón [100 mg L⁻¹]; AG₃: ácido giberélico [25 mg L⁻¹]; GLU: ácido glutámico [150 mg L⁻¹]; B1: tiamina [150 mg L⁻¹]; TRP: triptófano [150 mg L⁻¹].

Los frutos en ramas centrales comenzaron a cosecharse después de 74 días de la aplicación. El periodo de cosecha duró 149 días y en general se observó un pico de producción entre los 133 y 177 ddt (septiembre-octubre) (Figura 10). Este adelanto de la cosecha es suficiente para entrar en la ventana de comercialización en Estados Unidos (inicios de octubre) y coincidir con mayores precios.

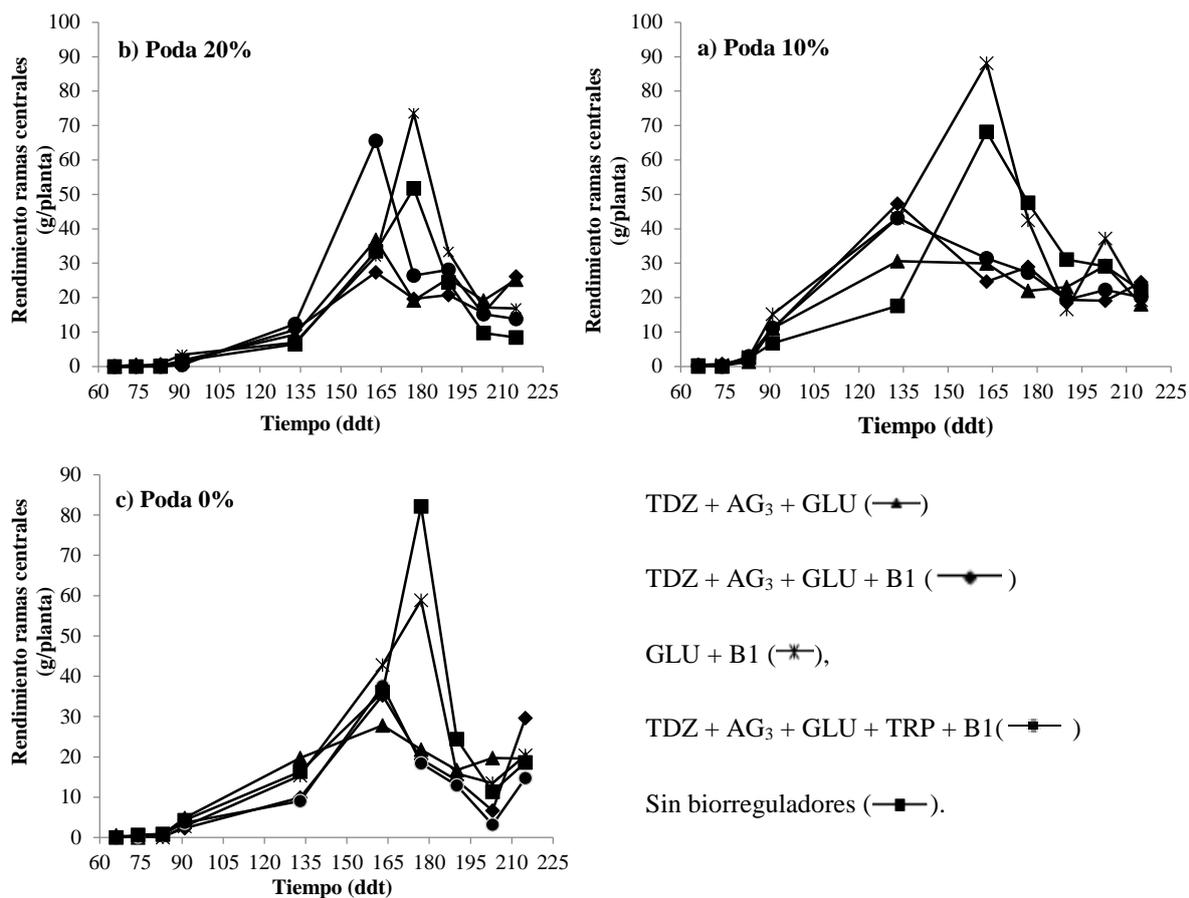


Figura 10. Dinámica de producción en ramas centrales de arándano ‘Biloxi’ días después de la poda a 10 % (a), 20 % (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón [100 mg L⁻¹]; AG₃: ácido giberélico [25 mg L⁻¹]; GLU: ácido glutámico [150 mg L⁻¹]; B1: tiamina [150 mg L⁻¹]; TRP: triptófano [150 mg L⁻¹].

En ramas centrales se registraron producciones de fruto y número total de frutos por efecto de la aplicación de GLU + B1 similares al testigo ($p > 0.05$) pero superiores a los tratamientos que incluyeron TDZ y AG₃ (Cuadro 4). Todos los tratamientos que incluyeron la adición de TDZ y AG₃ resultaron en menor rendimiento en gramos de fruta por planta y menor número de frutos por planta en comparación con las plantas testigo sin aplicación (Cuadro 4), lo cual es resultado de una reducción en el número de flores por planta promovido por los tratamientos con estos biorreguladores que se reportó en la dinámica de floración en la Figura 8 y al daño fitotóxico sobre los nuevos brotes que se muestra en la Figura 7.

Estos resultados del efecto de TDZ y AG₃ contrastan con lo reportado por Loera-Alvarado *et al.* (2017) quienes hicieron aplicaciones de la combinación de esos mismos biorreguladores con poda y reportan que no hubo diferencias ($p > 0.05$) en producción (ni daños como necrosis de yemas) y en cambios en calidad de fruto en plantas de arándano asperjadas con una concentración menor de TDZ (80 mg L⁻¹) con AG₃ (50 mg L⁻¹) + 10 % de poda con respecto al testigo. Los resultados del presente estudio difieren también con resultados obtenidos por Galindo-Reyes *et al.* (2004) quienes reportaron en plantas de zarzamora ‘Comanche’, mayor producción con aplicación de 200 mg·L⁻¹ de TDZ + 100 mg·L⁻¹ de AG₃ que en las plantas testigo.

Cuadro 4. Rendimiento total y número de frutos en ramas laterales y centrales de la planta por efecto los biorreguladores aplicados el 14 de abril 2018 en arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero.

Nivel Biorregulador (mg L ⁻¹)	Ramas laterales		Ramas centrales		Rendimiento total
	g /planta	Núm. de frutos	g /planta	Núm. de frutos	(g/planta)
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150	101a	98ab	149b	144bc	251b
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + B1 100	107a	98ab	133b	121c	240b
GLU 150 + B1 100	107a	113ab	238a	236 ^a	346ab
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150 + B1 100	115a	77b	153b	131bc	269ab
Testigo (sin biorreguladores)	166a	155a	194ab	184ab	361a
Poda 20%	95B	76B			
Poda 10%	105AB	107AB			
Poda 0%	158A	140A			

Medias con distinta letra mayúsculas o minúsculas en una hilera o en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; B1: tiamina; TRP: triptófano.

En ramas laterales sin poda se registró mayor rendimiento (158 g en ramas/planta) ($Pr > F = 0.0188$) y mayor diámetro de frutos (11.47mm) ($Pr > F = 0.0237$), comparado con plantas podadas al 20 %, de manera que la poda severa redujo el número de frutos y el peso de frutos

en ramas laterales por planta (Cuadro 4). El resultado observado, coincide con Jorquera-Fontena *et al.* (2014), quienes encontraron en arándano cultivar ‘Brigitta’ que el rendimiento y el número de bayas por planta disminuyeron al aumentar la severidad de la poda, mientras que el área de la hoja del dosel aumentó y el peso del fruto junto con la materia seca se relacionaron negativamente con la intensidad de poda.

Aunque es deseable lograr un mayor rendimiento por unidad de área mediante una gran cantidad de brotes reproductivos por planta, la competencia entre frutos por asimilados puede reducir la cantidad de azúcares por fruto y así resultar en una menor calidad de estos (Léchaudel *et al.*, 2005). Lo anterior, debido a que la fuente de carbono (principalmente hojas) no satisface la demanda que significa la cantidad de frutos en desarrollo (Seehuber *et al.*, 2011; El-Boray *et al.*, 2013).

Calidad de fruto

En cuanto a parámetros de calidad de fruto mostrados en el Cuadro 5, no hubo efecto significativo de la interacción ni del factor poda. Se obtuvo un peso promedio general de fruto de 1.05 g, lo cual, según Spiers y Stringer (2002), está en el rango menor en cosecha para este cultivo (0.8 g a 3.4 g). Los frutos de las plantas tratadas con todos los reguladores en la mezcla, fue superior al tratamiento con GLU + B1 (1.18 vs 0.98 g por fruto), pero sin diferencia significativa con el testigo. Con relación a la firmeza y sólidos solubles totales (°Brix) los frutos del tratamiento con TDZ + AG₃ + GLU + B1 tuvieron valores significativamente ($\alpha= 0.05$) menores al testigo sin aplicación (Cuadro 5). Todos los demás tratamientos no presentaron efectos significativamente diferentes al testigo. El valor de °Brix promedio en los frutos del experimento fue de 14.3% lo que coincide con lo indicado por Forney *et al.* (2012), quienes indican que niveles superiores a 10 °Brix en arándano son un buen criterio de cosecha. El contenido de antocianinas no se vio afectado significativamente ($p > 0.05$) por los tratamientos, en promedio los frutos obtuvieron una concentración de 182 mg kg⁻¹ (Cuadro 5).

Cuadro 5. Peso individual promedio de fruto, firmeza, sólidos solubles totales y antocianinas en ramas laterales y ramas centrales para los tratamientos aplicados en arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero en Montecillo, México de abril a octubre de 2018.

Tratamientos con biorreguladores (mg L ⁻¹)	Peso (g/fruto)	Firmeza (N)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Antocianinas (mg·kg ⁻¹)
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150	1.03ab	1.63a	14.5ab	165.5a
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + B1 100	1.06ab	1.23b	13.2b	179.2a
GLU 150 + B1 100	0.98b	1.42ab	14.7a	198.5a
TDZ 100 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150 + B1 100	1.18a	1.63a	14.6ab	171.5a
Testigo (sin biorreguladores)	1.05ab	1.64a	15.3a	198.0a

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p > 0.05$).

TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; B1: tiamina; TRP: triptófano.

Los resultados obtenidos son inferiores a los datos de calidad reportados en 1999 para el cultivar ‘Biloxi’, con un peso promedio de fruto de 1.47 g, contenido de sólidos solubles de 13.4% y antocianinas valor de 90, a su vez los valores son inferiores al cultivar ‘Climax’ con un peso promedio de la baya de 1.55 g, contenido de sólidos solubles de 13.6% y concentración de antocianinas (ACY) valor de 185 (Spiers *et al.*, 2002).

Es importante tener en cuenta que, en las condiciones del presente estudio, la cosecha de frutos no fue continua a lo largo del experimento y se concentró en los tratamientos con reguladores en picos de producción de acuerdo con el efecto de la poda (Figura 9 y 10). Estos picos de producción guardan una estrecha relación con flujos de floración y el efecto de la temperatura. Además, los efectos secundarios observados en este estudio se pueden deber a factores no controlados como al efecto sinérgico entre biorreguladores, el momento de la aplicación, la sensibilidad del tejido y las condiciones ambientales.

1.6. CONCLUSIONES

La aspersión de thidiazurón a concentración de 100 mg L⁻¹ combinado con ácido giberélico (25 mg L⁻¹) promueven mayor brotación de yemas, pero ocasiona detención del crecimiento, entrenudos cortos, necrosis de yemas laterales y brotes arrosados, y resulta en menor emisión final de flores y menor producción de fruto por planta; por lo que se sugiere evaluar dosis menores.

El efecto de podas severas (20%) disminuyen el número de yemas brotadas, el número de flores, inflorescencias, además, atrasan la floración y como consecuencia se obtiene menor rendimiento. La aplicación con TDZ, AG₃, GLU, y B1 afecta de manera negativa la firmeza y sólidos solubles de los frutos. Los tratamientos a base de aspersiones de biorreguladores y poda no mejoran de manera significativa los parámetros de calidad de frutos. La aspersión de ácido glutámico más tiamina en ramas laterales sin podar y ramas centrales, resulta en mayor número de flores y aumento del rendimiento en arándano 'Biloxi' en condiciones de invernadero.

1.7. LITERATURA CITADA

- Abou-Dahab T., A., M., and N. El-Aziz G. 2006. Physiological effect of diphenylamin and tryptophan on the growth and chemical constituents of *Philodendron erubescens* plants. World Journal of Agricultural Sciences 2:75-81.
- Alvarado-Raya H., J. Rodríguez-Alcazar, G. Calderón-Zavala, y E. Cárdenas-Soriano. 2000. El thidiazurón, la brotación floral y las dimensiones del ovario en ciruelo japonés (*Prunus salicina* L.) 'Shiro'. Agrociencia 34:321-327.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis of AOAC International. 1984. 14^a edition. USA. 1006 p.
- Arndt F., R. Rusch, H. V. Stilfried. 1976. A new cotton defoliant. Plant Physiol 57:99
- Bañados M. 2009. Expanding blueberry production into non-traditional production areas: northern Chile and Argentina, Mexico and Spain. Acta Horticulturae 810:439-445.
- Bañados M., P., and B. Strik. 2006. Manipulation of the annual growth cycle of blueberry using Photoperiod. Acta Horticulturae 715:65-72.

- Calderón-Zavala G., y Rodríguez-Alcazar J. 2000. Thidiazuron (n-phenil-n-1 (1,2,3-thidiazol) urea) as a promoter of budbreak on peach (*Prunus persica* I. Btsch) and Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6:117-120.
- El-Bassiouny H., M., S., and A. Abdel-Monem A. 2016. Role of tryptophan or prozac (5-hydroxytryptamine) on some osmolytes and antioxidant defense system of sunflower cultivars grown in saline soil. *International Journal of ChemTech Research* 6:107-120.
- Espinosa T. E., M. Mendoza C., F. Castillo G., J. Ortiz C., A. Delgado A., y A. Carrillo S. 2009. Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Fitotécnia Mexicana* 32:303-309.
- Evert R. F., K. Esau, and S. E. Eichhorn. 2008. Esau anatomía vegetal: meristemas, células y tejidos de las plantas: su estructura, función y desarrollo. Ed. Omega, vol. 1, 3ra. Edición. Barcelona, España, 614 pp.
- Forney C., F., W. Kalt, M. Jordan A., M. Vinqvist-Tymchuk R., and S. Fillmore A. E. 2012. Compositional changes in blueberry and cranberry fruit during ripening. *Acta Horticulturae* 926:331-338.
- Galindo-Reyes M., A., V. Gonzáles-Hernández A., A. Muratalla-Lúa, M. Soto-Hernandez R., y M. Livera-Muñoz. 2004. Producción forzada en zarzamora ‘Comanche’ mediante reguladores de crecimiento. *Horticultura* 10:205-209.
- Gunduz K., S. Serçe, and J. Hancock F. 2015. Variation among highbush and rabbiteye cultivars of blueberry for fruit quality and phytochemical characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis* 38:69-79.
- Guo B., B. Haider A., A. Zeb, L. L. Xu, and Y. H. Wei. 2011. Thidiazurón: A multi-dimensional plant growth regulator. *African Journal of Biotechnology* 10:8984-9000.
- Hall I., V., F. Forsyth R., and R. Newbery J. 1970. Effect of temperature on flower bud and leaf anthocyanin formation in the lowbush blueberry. *HortScience* 4:272-273.
- Hutchinson M. J., S. Krishnaraj, and P. K. Saxena. 1997. Inhibitory effect of GA z on the development of TDZ-induced somatic embryogenesis of geranium (*Pelargonium X hortorum*) hypocotyl cultures. *Plant Cell Rep* 16:435-438.
- Inada S., M. Tominaga, and T. Shimmen. 2000. Regulation of root growth by gibberellin in *Lemna minor*. *Plant and Cell Physiology* 41: 657-665

- Jaimez R., N. Nava, y Y. Rivero. 2002. Efecto de diferentes intensidades de poda sobre la dinámica de floración y producción de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq). Facultad de Agronomía 19:132-139.
- Javed N., M. Ashraf, A. Q. Fahad, and N. A. Akram. 2014. Integration of physio-biochemical processes at different phenological stages of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants in response to heat stress. Pakistan Journal of Botany 46:2143-2150.
- Ji Z. L., S. Y. Wang. 1988. Reduction of abscisic acid content and induction of sprouting in potato, *Solanum tuberosum* L., by TDZ. J Plant Growth Regul 7:37-44.
- Jiang Y., D. Joyce C., and L. Terry A. 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. Postharvest Biology and Technology 23:227-232.
- Kalt W., D. Ryan A. J., J. Duy C., R. Prior L., M. Ehlenfeldt K., and V. Kloet S., P. 2001. Interspecific variation in anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium section cyanococcus* spp.). Journal of Agricultural and Food Chemistry 49:4761-4767.
- Karppinen K., L. Zoratti, N. Nguyenquynh, H. Häggman, and L. Jaakola. 2016. On the Developmental and Environmental Regulation of Secondary Metabolism in *Vaccinium* spp. Berries. Frontiers in Plant Science, 7:665.
- Khuong T., Y. Zheng, C. Chao, and C. Lovattl. 2010. Foliar-applied tryptophan, a precursor of iaa biosynthesis *In*: Proceedings of the 37th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America, Portland, Oregon, USA pp. 97-101.
- Kieber J. J. 2002. Cytokinins, *in* The Arabidopsis. American Society of Plant Biologists. e0063. 25p.
- Koshita Y. 2015. Effect of temperature on fruit color development, in Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants, eds Y. Kanayama and A. Kochetov, Berlín.47-58 p.
- Kovaleski P., A., J. Williamson C., J. Olmstead W., and R. Darnell L. 2015. Inflorescence bud initiation, development, and bloom in two southern highbush blueberry cultivars. Journal of the American Society for Horticultural Science 140:38-44.
- Kumar N., and M. Reddy P. 2012. Thidiazuron (TDZ) induced plant regeneration from cotyledonary petiole explants of elite genotypes of *Jatropha curcas*: A candidate biodiesel plant. Industrial Crops and Products 39:62-68.

- Lee, S. K., and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol* 20: 07–220.
- Linden L., and A. Riikonen. 2006. Effects of 6-benzylaminopurine, thidiazuron and type of explant on in vitro shoot development of *Acer platanoides* L. *Propagation of Ornamental Plants* 6:201-204.
- Loera-Alvarado M., G. Calderón-Zavala, P. Sánchez-García, y A. Rebollar-Alviter. 2017. Aspersión de thidiazurón y ácido giberélico combinado con poda sobre fenología del arándano (*Vaccinium* spp.). *Agroproductividad* 10:121-127.
- Masekesa T., R., E. Gasura, E. Ngadze, D. Icishahayo, G. Kujeke T., F. Chidzondo, and I. Robertson. 2016. Efficacy of zeatin, kinetin and thidiazurón in induction of adventitious root and shoot from petiole explants of sweetpotato cv. Brondal. *South African Journal of Botany* 104:1-5.
- Moon J., W., J. A. Flore, and J. F. Hancock. 1987. A comparison of carbon and water vapor gas exchange characteristics between a diploid and Highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112:134-138.
- Murthy B. N., S. J. Murch, and P. K. Saxena. 1995. TDZ-induced somatic embryogenesis in intact seedlings of peanut (*Arachis hypogaea*): endogenous growth regulator levels and significance of cotyledons. *Physiol Plant* 94:268–276.
- Mustafa A., A. Hussain, M. Naveed, A. Ditta, Z. Nazli, and A. Sattar. 2016. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* L) to soil and foliar applied L-tryptophan L-tryptophan treatment. *Plant Growth Measurements Agronomic Parameters* 35:76-84.
- Pai, S. R., and N. S. Desai. 2018. Effect of TDZ on Various Plant Cultures. *Thidiazuron: From Urea Derivative to Plant Growth Regulator*, 439–454.
- Pérez-Barraza M., H., T. Osuna-Enciso, M. Gutiérrez-Espinosa, M. Santiago-Cruz, E. Avitia-García, y R. Cano-Medrano. 2015. Thidiazurón y ácido giberélico en amarre y tamaño de frutos de Mango ‘Ataulfo’ polinizados y partenocárpicos. *Interciencia* 40:677-683.
- Rao S. R., A. Qayyum, A. Razzaq, M. Ahmad, I. Mahmood, and A. Sher. 2012. Role of foliar application of salicylic acid and L-Tryptophan in drought tolerance of maize. *Journal of Animal and Plant Sciences* 22:768-772.

- Retamales J.B. and J. Hancock F. 2012. Blueberries and cranberries *In*: Blueberries. Hancock J., F., P. Lyrene, C. E. Finn, N. Vorsa, G. A. Lobos (Ed.). CAB International, Wallingford, UK. pp:51-73.
- Roden J. S., and M. C. Ball. 1996. The effect of elevated CO₂ on growth and photosynthesis of two eucalyptus species exposed to high temperatures and water deficits. *Plant Physiology* 111:909-919.
- Romero C. A. 2016. El arándano en el Perú y el mundo. Riego, Ministerio de Agricultura y Riego (Ed.). Lima, Perú 41 p.
- Salvo S., C. Muñoz, J. Ávila, J. Bustos, E. Cariaga, C. Silva, and G. Vivallo. 2011. Sensitivity in the estimation of parameters fitted by simple linear regression models in the ratio of blueberry buds to fruits in Chile using percentage counting. *Scientia Horticulturae* 130:404-409.
- SAS. 2012. SAS versión 9,4. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.
- Serna-Rodríguez J., R. Castro-Brindis, M. Colinas-León, and J. Sahagún-Castellanos, J. Rodríguez-Pérez. 2011. Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.). *Chapingo* 17:9-13.
- Spann T., M., J. Williamson G., and R. Darnell L. 2004. Photoperiod and temperature effects on growth and carbohydrate storage in southern highbush blueberry interspecific hybrid. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129:294-298.
- Spiers M. J., and S. Stringer J. 2002. ‘Biloxi’ Southern Highbush Blueberry. Proc. 7th IS on *Vaccinium*. Ed. R. F. Hepp. *Acta Horticulturae*. 574.
- Theron K. I., H. Gerber J., and W. Steyn J. 2011. Effect of hydrogen cyanamide, mineral oil and thidiazurón in combination with tip pruning on bud break, shoot growth and yield in ‘Bourjasotte Noire’, ‘Col de Damme Noire’ and ‘Noire de Caromb’ figs. *Scientia Horticulturae* 128:239-248.
- Thomas J.C., E. R. Katterman. 1986. Cytokinin activity induced by TDZ. *Plant Physiol* 81:681–683.
- Uleberg, E., J. Rohloff, L. Jaakola, K. Tröst, O. Junttila, H. Häggman. 2012. Effects of temperature and photoperiod on yield and chemical composition of northern and southern clones of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *J. Agric. Food Chem.* 60: 10406–10414.

- Wang S.Y., G. L. Steffens, and M. Faust. 1986. Breaking bud dormancy in apple with a plant bioregulator, thidiazuron *Biochemistry* 25: 311-317
- Williamson J. G., and D. NeSmith S. 2007. Effects of CPPU applications on southern highbush blueberries. *HortScience* 42:1612-1615.
- Yip WK, Yang SF (1986) Effect of TDZ, a cytokinin-active urea derivative, in cytokinin-dependent ethylene production systems. *Plant Physiol* 80:515–519.
- Zang Y., I. Chun, L. Zhang, S. Hong, W. Zheng, and K. Xu. 2016. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. *Scientia Horticulturae* 200:13-18.

CAPÍTULO II. BROTAÇÃO DE YEMAS EN ARÁNDANO ‘BILOXI’ CON PODA APICAL Y UNA MEZCLA DE BIORREGULADORES

Yennyfer Alexandra Peña-Rico, Guillermo Calderón-Zavala, Javier Suárez-Espinosa y Eduardo García-Villanueva

2.1. RESUMEN

México tiene potencial de exportación de arándano (*Vaccinium* spp.) debido a que la producción anual de este cultivo proviene de múltiples cosechas, y a que su producción se podría inducir en la época de mayor demanda en el mercado estadounidense; por ello, se evaluó la aplicación de biorreguladores combinados con poda en la brotación floral, rendimiento y calidad de frutos de arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero. Se realizó un experimento factorial con dos factores de estudio: poda (0 %, 5 % y 10 %) y 5 biorreguladores (TDZ: thidiazurón [50 mg L⁻¹]; AG₃: ácido giberélico [25 mg L⁻¹]; GLU: ácido glutámico [150 mg L⁻¹]; TRP: triptófano [150 mg L⁻¹], testigo) durante el ciclo de producción 2019. Se evaluó el porcentaje de brotación de yemas laterales, dinámica de floración, número de flores e inflorescencias, producción y calidad de fruto. La ausencia de poda en ramas laterales produjo mayor porcentaje de brotación de yemas y en consecuencia mayor número de flores abiertas, además, la poda al 10% combinado con la aplicación de biorreguladores retrasó la floración e influyó en el número final de flores laterales/planta. La aplicación de TDZ + AG₃ + GLU + TRP en ramas laterales aumentó en 36% el porcentaje de yemas brotadas, en relación con el testigo, por tanto, la combinación de estos cuatro biorreguladores indujo en ramas laterales mayor número de flores e inflorescencias y, en consecuencia, mayor rendimiento. En general, la interacción entre poda y aspersión de biorreguladores resultó en una floración tardía (80% de flores abiertas) y la aplicación de TDZ, AG₃ y GLU prolongó el periodo de antesis a cosecha en 86 días de flor a fruto. Los tratamientos a base de aspersiones de biorreguladores y poda no afectan de manera significativa los parámetros de calidad de frutos, pero se resalta la aplicación de TDZ + AG₃, la cual indujo mayor número de frutos y coinciden con una mayor calidad referida en peso, diámetro y firmeza.

Palabras clave: *Vaccinium corimbosum* L, aminoácidos, promotores de la brotación, poda en verde.

SPROUTING BUDS AND YIELD ON BLUEBERRY 'BILOXI' WITH PRUNING APICAL AND BIOREGULATORS

Yennyfer Alexandra Peña-Rico, Guillermo Calderón-Zavala, Javier Suárez-Espinosa y Eduardo García-Villanueva

2.2. ABSTRACT

Mexico has export potential for blueberries (*Vaccinium* spp.) due the annual production of this crop comes from multiple harvest, and its production could be induced in the time of greatest demand in the US market; therefore, the application of bioregulators combined with pruning on flower sprouting, yield and quality of blueberry fruits 'Biloxi' in greenhouse conditions was evaluated. A factorial experiment was carried out with two study factors: pruning (0, 5 and 10%) and 5 bioregulators (TDZ: thidiazuron [50 mg L⁻¹]; AG₃: gibberellic acid [25 mg L⁻¹]; GLU: glutamic acid [150 mg L⁻¹]; TRP: tryptophan [150 mg L⁻¹] and a control) during the 2019 production cycle. Lateral budbreak, flowering dynamics, number of flowers, inflorescences, production and fruit quality were evaluated. The absence of pruning on lateral branches produced a higher percentage of budbreak and consequently, a greater number of open flowers, in addition, pruning at 10% combined with the application of bioregulators delayed flowering and influenced the final number of lateral flowers/plants. TDZ + AG₃ + GLU + TRP in lateral branches increased by 36% the percentage of sprouted buds, in relation to the control, therefore, the combination of these four bioregulators induced in the lateral branches a greater number of flowers and inflorescences and, consequently, higher yield. In general, the interaction between pruning and bioregulators resulted in late flowering (80% of open flowers) and the application of TDZ, AG₃ and GLU extended the period of pre-harvest to 86 days from flower to fruit. Treatments do not significantly affect the fruit quality parameters, but application of TDZ + AG₃ induced a greater number of fruits, with a higher fruit weight, diameter and firmness.

Keywords: *Vaccinium* spp., amino acids, sprouting promoters, pruning in green.

2.3. INTRODUCCIÓN

El arándano azul es conocido por sus compuestos bioactivos; flavonoides, ácidos fenólicos, taninos y antocianinas (Yang *et al.*, 2014), y por su capacidad antioxidante, la cual se correlaciona con dichos compuestos (Kalt *et al.*, 2000). México ocupa el cuarto lugar mundial en producción de arándano, con alrededor de 40 000 t, de las cuales 39 000 se encuentran en sistema de riego y 800 t en temporal. La cosecha proviene de más de 3 mil 600 ha distribuidas principalmente en Jalisco, Sinaloa, Michoacán, Baja California y Colima como principales productores (SADER, 2018).

La producción en arándano se concentra en las zonas más alejadas de las raíces y del centro del arbusto, por lo que la planta invierte energía al transportar los nutrientes a largas distancias hasta la zona productiva (Retamales y Hancock, 2012).

Entre los arándanos southern highbush (SHB), el cv. Biloxi perteneciente a este grupo, tiene bajo requerimiento de frío que oscila entre 400 - 500 h, característica que permite su introducción y desarrollo en diferentes condiciones climáticas y a la producción en sistemas de cultivo siempre verde (Retamales y Hancock, 2012).

Para favorecer la brotación de yemas de las zonas del centro del arbusto se utilizan prácticas como la poda en verde de laterales, de esta manera aumentar la cantidad de yemas florales por planta (Williamson *et al.*, 2004) y así obtener mayores rendimientos en el cultivo (Salvo *et al.*, 2011). El resultado en el desarrollo de brotes depende del estado de dormancia de la yema y la intensidad del corte (Bañados *et al.*, 2007); si se realiza correctamente se obtiene mayor tamaño de fruto (Retamales y Hancock, 2012).

El uso de biorreguladores; thidiazurón (TDZ), ácido giberélico (AG₃), aminoácidos y vitaminas, es otra práctica que se utiliza para inducir la brotación de yemas florales. Estos se han estudiado ya que promueven el crecimiento de las plantas en dosis bajas y dentro de sus ingredientes pueden presentar sustancias húmicas, productos que contienen hormonas o aminoácidos (Kauffman *et al.*, 2007), entre otros. En frutales los estudios con biorreguladores

son escasos (Tarantino *et al.*, 2018), sin embargo, el TDZ por su respuesta similar a la de citocininas promueve brotación de yemas en zarzamora ‘comanche’ (Galindo-Reyes *et al.*, 2004), se utiliza para finalizar el letargo en yemas de manzano (*Malus domestica* Bork) (Wang *et al.*, 1986) y adelantar la floración en ciruelo japonés (*Prunus salicina*) (Alvarado-Raya *et al.*, 2000).

La aplicación foliar de AG₃ en arándano tipo SHB se emplea para incrementar el rendimiento y promover cosechas anticipadas (Williamson *et al.*, 2004). El uso de esta hormona aumentó la brotación floral en tres cultivares de arándano tipo rabbiteye (Zang *et al.*, 2016); además, en combinación con TDZ (50 mg·L⁻¹) incrementó el amarre inicial en mango ‘Ataulfo’ (Pérez-Barraza *et al.*, 2015).

El uso de aminoácidos como ácido glutámico (GLU) y triptófano, intervienen en el metabolismo secundario de las plantas, de manera que la aplicación foliar de GLU (1.25 y 2.50 g L⁻¹) favorece la formación de clorofila b, y aumenta el rendimiento en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), al incrementar la actividad de la enzima glutamina sintetasa (Serna-Rodríguez *et al.*, 2011). Por su parte, el triptófano, precursor de las auxinas, participa en la regulación y respuestas al estrés; aplicaciones foliares reducen el estrés por sequía en maíz (*Zea mays*) (Rao *et al.*, 2012) y por salinidad en girasol (*Helianthus annuus* L.) (El-Bassiouny y Abdel-Monem, 2016). El uso de este aminoácido aumenta significativamente los componentes de rendimiento en okra (*Abelmoschus esculentus* L.) (Mustafa *et al.*, 2016), e incrementa el tamaño de frutos en mandarina (*C. reticulata*) (Khuong *et al.*, 2010).

El efecto de la poda y los biorreguladores pueden influir sobre la calidad de los frutos, como peso, diámetro, firmeza, sólidos solubles totales, sin embargo, Galindo-Reyes *et al.* (2004), probaron que las aplicaciones de biorreguladores como TDZ (100, 200 y 250 mg L⁻¹) y AG₃ ((100 mg L⁻¹) no afectaron la calidad del fruto. Al respecto, el sabor de la baya y los compuestos bioactivos son los rasgos de calidad más importantes en arándano; los cuales determinan el

interés de su consumo y de esta manera se ha convertido en unos de los cultivos con mayor demanda (Gilbert *et al.*, 2014).

Como antecedente de esta investigación, en un primer experimento en el periodo 2018, con el uso de thidiazurón (100 mg/L) y ácido giberélico (25 mg/L), como biorreguladores, se obtuvo un efecto deletéreo en los nuevos brotes de yemas en ramas laterales de arándano ‘Biloxi’, por una alta concentración. Debido a eso, el interés de investigar, en un segundo experimento, la respuesta de la poda y el uso de biorreguladores disminuyendo la intensidad de la poda y la dosis de aplicación del thidiazurón.

Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la brotación de yemas, dinámica de floración, producción, rendimiento y la calidad de fruto al aplicar biorreguladores y diversas intensidades de poda en arándano cv. Biloxi.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal

La investigación se realizó en el ciclo de producción 2019, en un invernadero ubicado en Montecillo, Edo. de México (19° 28' 4.26" N, 98° 53' 42.18" W) a una altitud de 2250 m. Se emplearon 60 plantas de arándano cv. Biloxi, de un año, establecidos el 7 de noviembre de 2017 en macetas de plástico soplado (26.5 L), con una distribución dentro del invernadero a una distancia de 1 m entre filas y 40 cm entre plantas. Se utilizó como sustrato perlita, peat moss y tezontle, en relación 1:1:1. Al año de crecimiento, 4 meses antes de iniciar los tratamientos, se efectuó en todas las plantas una poda fuerte de los tallos principales (denominados cañas en el argot de las berries), para promover un nuevo flujo de crecimiento.

Se utilizó un sistema de fertirriego con un gasto de 4 L/planta durante 9 meses. Se aplicó una solución nutritiva de Steiner modificada, formulada a 25 %, usando nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato monopotásico, sulfato de amonio y Tradecorp AZ®, como fuente de micronutrientes. Se procuró que el pH de la solución estuviera siempre entre 4.5 y 5.5 con H₂SO₄, la conductividad eléctrica menor de 1.5 dS/m y

se mantuvo un sistema de producción siempre verde. Durante la primera semana de cada mes, el riego por goteo fue solamente con agua acidificada para realizar un lavado de sales para evitar su acumulación en el sustrato.

Se registraron datos de temperatura máxima, mínima y media, de noviembre 2018 a julio 2019, dentro del invernadero mediante un data logger HOB0®, con una frecuencia de registro de datos de 30 min.

Tratamientos

Se realizó un experimento factorial con dos factores de estudio: poda (0, 5 y 10 %) y mezclas de biorreguladores (TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano), incluyendo un testigo sin aplicación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Combinación de biorreguladores (TDZ, AG₃, GLU y TRP) con intensidades de poda apical aplicados a plantas de arándano ‘Biloxi’ en invernadero en Montecillo, Edo. de México.

Factor principal	Nivel	Mezclas de biorreguladores			
		TDZ (mg L ⁻¹)	AG ₃ (mg L ⁻¹)	GLU (mg L ⁻¹)	TRP (mg L ⁻¹)
Biorreguladores	1	50	25	-	-
	2	50	25	150	-
	3	50	25	150	150
	4	-	-	150	150
	5	Sin aplicación de biorreguladores			
Porcentaje de despunte apical					
Poda	1	10%			
	2	5%			
	3	0%			

TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.

Diseño experimental

El diseño experimental fue en bloques aleatorizado, con un arreglo factorial 3 x 5 con cuatro repeticiones; una planta como unidad experimental. Después de la poda de renovación (noviembre 2018), se observó un número irregular de ramas fructificantes en las plantas, por tal motivo se decidió agruparlas en cuatro bloques homogéneos, con 15 plantas cada uno,

considerando a una planta como repetición; en el primer bloque las plantas tuvieron cuatro ramas laterales, en el segundo tres ramas, en el tercero dos ramas laterales y en el cuarto una rama lateral.

Cada planta se dividió en dos áreas de estudio: las ramas laterales y las ramas centrales (Figura 11). La poda sólo se aplicó en las ramas laterales, mientras que la aspersión de biorreguladores se hizo en toda la planta (ramas laterales y centrales).



Figura 11. Representación esquemática de la unidad experimental: Ramas laterales (●●●●), Ramas centrales (----).

Una vez se corroboró mediante disección de yemas laterales, que el porcentaje de yemas con diferenciación floral era igual o mayor a 70 %, se iniciaron los tratamientos, el 27 de febrero de 2019, inmediato a la poda de despunte; se aplicaron por aspersión las dosis respectivas de TDZ, AG₃, GLU y TRP en las mezclas indicadas en el Cuadro 6, hasta el punto de goteo y para el 14 de marzo de 2019 se hizo una segunda aplicación de biorreguladores. En ambas fechas se empleó una pantalla protectora para evitar asperjar plantas ajenas al tratamiento. Los biorreguladores se disolvieron por separado en agua destilada y luego se mezclaron, según la combinación. Se usó DAP Plus® como surfactante y regulador del pH (5 y 6).

Variables estudiadas

Con el objeto de definir el inicio de la aplicación de los tratamientos, se le dio seguimiento al proceso de la diferenciación floral a 36 yemas provenientes de 3 plantas representativas e independientes (ajenas a las 60 ya referidas para los tratamientos). En cada planta se seleccionaron dos ramas laterales del flujo de crecimiento promovido con la poda aplicada en noviembre de 2018 y de cada rama se disectó una yema considerando su posición en la rama (basal, media y apical), en dos fechas: 19 y 25 de febrero de 2019; en cada caso se determinó la presencia o ausencia de la diferenciación floral mediante una disección de los ápices y su observación directa al microscopio estereoscópico. El inicio de la aplicación de los tratamientos fue cuando al menos 70 % de las yemas presentaron algún grado de diferenciación floral.

Variables respuesta

El porcentaje de brotación de yemas y número de inflorescencias se registraron en ramas laterales. Las variables de floración, calidad y rendimiento se registraron por separado en las ramas laterales y en las centrales.

Ramas laterales

Yemas brotadas (%): Una vez realizada la aplicación de tratamientos, se realizó un conteo de número de yemas de las diferentes ramas (4 a 1) por planta. A los 134 días después del inicio de la aplicación (ddt), en cada planta se contó el número de yemas brotadas en tales ramas y se calculó el porcentaje de brotación por planta con base en el total yemas iniciales.

Inflorescencias: Se registró semanalmente el número de inflorescencias de las ramas seleccionadas (4 a 1) por planta y a los 134 ddt se obtuvo el total de inflorescencias en las ramas laterales por planta.

Ramas laterales y centrales

Flores: El conteo de flores abiertas en ramas laterales y centrales, por separado, se inició desde que aparecieron las primeras (3 ddt) hasta los 127 ddt, a intervalos de seis días. La floración plena en ramas laterales se determinó cuando al menos el 80% de flores estuvieron abiertas, y la fecha de floración completa, así como el pico de cosecha se calculó ajustando los datos (número de flores) de la curva observada a un modelo logarítmico $y = a/(1 + be^{-cx})$.

Amarre: A los 21 días se seleccionó por planta una inflorescencia y se registró el número de botones florales. Para la determinación del porcentaje de amarre, se tuvo en cuenta el número de frutos amarrados, respecto al número total de flores abiertas por planta. A partir de los 25 ddt se contó a intervalos de cinco días el número de flores abiertas y se registró la fecha de floración completa (80% de flores abiertas) de las inflorescencias seleccionadas. Con base en las fechas registradas de floración completa en esa inflorescencia se estimó el número de días de flor a fruto por planta.

Dinámica de producción de fruto: En cada tipo de rama se registró la producción (peso de frutos, gramos) con una báscula digital Excell a intervalos de 8 días durante el periodo de cosecha.

Calibre y diámetro del fruto: En cada cosecha, por unidad experimental se pasaron los frutos por tres tamices con orificios de diámetro de: 10 mm, 15 mm y 18mm; y para determinar el calibre promedio de los frutos, se contabilizó el número de frutos que se quedaban en cada tamiz, teniendo en cuenta la clasificación por tamaño: calibre pequeño (\leq a 10 mm), mediano (entre 11 y 15 mm) y fruto grande (\geq a 16 mm). Adicionalmente, se determinó el diámetro ecuatorial de cinco frutos con un vernier digital (Mituyo absolute), tanto de ramas laterales como de ramas centrales.

Rendimiento: El rendimiento fue el peso total acumulado de los frutos (suma de los muestreos) en ramas laterales + ramas centrales/planta, respectivamente. Además, se determinó

el peso individual de frutos (g/fruto), resultado del cociente del peso total y número total de frutos en ramas laterales y centrales.

Calidad del fruto: Las variables de calidad: firmeza, sólidos solubles totales, color, se tomaron por separado para ramas centrales y laterales, mientras que, para la cuantificación de antocianinas, fenoles totales, vitamina C y acidez titulable se realizó una muestra compuesta por planta. Todas las variables se evaluaron en el pico de cosecha, en una muestra aleatoria de cinco frutos por área de estudio según el caso.

La firmeza de la pulpa se midió con un penetrómetro (Force Five FDV-30®; Wagner Instrumens, Largo, FL, EE. UU.) adaptado con punzón cilíndrico de 6 mm de diámetro; la lectura se hizo en la parte ecuatorial del fruto y los datos se expresaron en Newtons (N).

El contenido de sólidos solubles totales (SST) se determinó en cuatro gotas de jugo por fruto, con un refractómetro digital (Atago PAL-1®; Atago Inc., Bellevue, WA, EE.UU.), se calibró el equipo con tres gotas de agua destilada con corrección de temperatura y se utilizó una tela de hilo para exprimir el fruto y obtener las gotas de jugo; las mediciones se expresaron en °Brix (AOAC, 1984).

El color de la epidermis se midió en conjunto de 10 frutos por planta, dispuestos en un recipiente de vidrio. Se utilizó un colorímetro portátil, Colorimeter NR20XE (3NH®, China), y se registraron los valores de (L) luminosidad, (a*) coordenada cromática rojo/verde (+a indica rojo,, -a indica verde), (b*) coordenada cromática amarillo/azul (+b indica amarillo y -b indica azul), (c) chroma y (h) ángulo de tono Hue° (Yemis *et al.*, 2012).

La acidez titulable se determinó en el pico de cosecha de una muestra homogénea por planta. Se pesó 1 g de pulpa de arándano y se licuó en 10 mL de agua bidestilada. La mezcla obtenida se filtró y se transfirió a vasos de precipitado, luego, se agregó dos gotas de indicador fenolftaleína. Por último, la mezcla se tituló con hidróxido de sodio (NaOH/O.1N) hasta lograr un vire a color púrpura.

El cálculo del porcentaje de acidez se determinó con base en el ácido que se encuentra en mayor proporción, caso de arándano ácido cítrico, con la siguiente formula:

$$\text{Acidez titulable (\%)} = \frac{A \times B \times C}{D} * 100$$

dónde: A = cantidad de base o NaOH (hidróxido de sodio) gastado, en mL; B = normalidad de la base (NaOH) usada en la titulación (0,1 N); C = peso equivalente expresado en gramos de ácido predominante de la fruta (0.064); y D = peso de la muestra en gramos.

La concentración de antocianinas se determinó en una muestra homogénea de 2 g de pulpa por planta en el pico de cosecha, por el método propuesto por Jiang *et al.* (2001). El manejo de las muestras se llevó a cabo en obscuridad, a una temperatura de 23 °C, después se evaluaron en un espectrofotómetro a 533 nm. Se utilizó solución extractora como blanco y el contenido de antocianinas totales se calculó con la fórmula: $A = (Ab/\square)(Ve/1000)PM(1/Ph)$ (10^6), propuesta por Trujillo *et al.* (2009).

Donde: Concentración de antocianinas totales

Ab= Absorbancia del extracto

\square = Coeficiente de extinción molar de la cianidina-3-3glucosido ($25965 \text{ cm}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

Ve= Volumen total del extracto o factor de dilución

PM= Peso molecular de la cianidina-3-glucosido (449)

Ph= peso de la muestra

Para la cuantificación de fenoles totales se siguió la metodología propuesta por Singleton, *et al.* (1999). Se tomó una muestra de 1 g de arándano fresco por planta en el pico se cosecha, se maceró con ayuda de mortero y 10 mL de metanol al 80 % como solución extractora. La mezcla se pasó a viales de 20 mL y se agitó por 15 min a temperatura ambiente, luego se transfirió a tubos de polipropileno y se centrifugó a 5000 rpm por 15 min a 9°C en una centrifuga Eppendorf (5804 R); se recuperó el sobrenadante. En viales de 20 mL se transfirieron 40 uL del extracto, se agregó 1.56 mL de agua destilada y 0.1 mL de Folin-Ciocalteu (1N), se dejó reposar por 3 min y se agregó 0.3 mL de carbonato de sodio al 20 %.

Después de 1 hora de reposo, se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro Thermo Genesys (10 uv) con celdas de vidrio. La curva de calibración se preparó con ácido gálico y se realizó dilución con agua destilada para los diferentes puntos (50 a 500 ug mL⁻¹).

El contenido de vitamina C se determinó por el método adaptado por Jagota y Dani (1982) con algunas modificaciones. Se tomaron 2 g de muestra homogénea, fruto fresco, la cual se maceró en un mortero con 8 mL de ácido tricloroacético 10 %. La mezcla se transfirió a tubos de ensayo que se agitaron vigorosamente, luego se centrifugó a 3000 rpm por 5 min y se dejó decantar el sobrenadante. Para la estimación del ácido ascórbico se tomó una alícuota de 0.5 mL del sobrenadante y se diluyó con 2 mL de agua bidestilada, luego se agregó 0.2 mL del reagente Folin-Ciocalteau y se agitó vigorosamente. Después de 10 min de reposo, se midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro con celdas de vidrio. Para la curva patrón se realizaron las diluciones correspondientes (10 a 100 ug mL⁻¹) con ácido ascórbico y se siguió el mismo procedimiento (Figura A3).

Análisis estadístico

Para cada variable se realizó un análisis de varianza ($\alpha = 0,05$) con el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS Institute, 2012) y en aquellas variables en las que se detectaron diferencias significativas, se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Para la variable amarre de fruto se realizó una prueba de regresión logística, con el paquete estadístico R (R Core Team, 2017).

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Registro de temperatura

Las temperaturas promedio oscilaron entre 15.7 y 23.18 °C, la temperatura mínima registrada fue de 4.5°C en el mes de diciembre de 2018 y la máxima alcanzó los 44.9°C en junio 2019. La temperatura media durante la etapa vegetativa (Nov – Mar) osciló entre 16-20°

C; aumentó a 20°C a principios de marzo y finales de junio 22°C, periodo que coincidió con la floración. A mediados de mayo, durante la primera cosecha, la temperatura media se registró en 22.7°C y disminuyó a 20.4 °C a principios de julio en el pico de la cosecha (Figura 12).

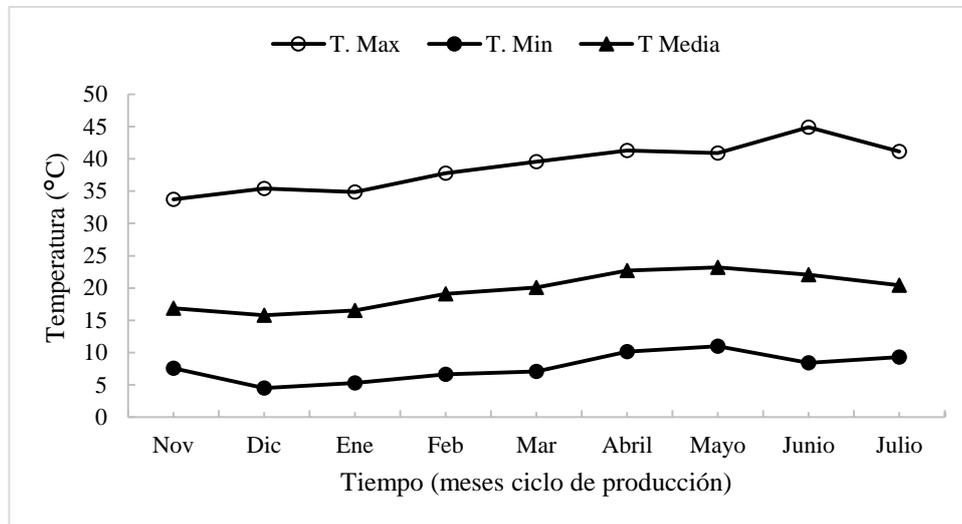


Figura 12. Temperaturas máximas, mínimas y media de noviembre 2018 a Julio de 2019, registradas dentro del invernadero.

El rango de temperatura óptima para arándano tipo southern highbush (SHB), oscila entre los 14 a 26 °C (Moon *et al.*, 1987), de manera que, las temperaturas máximas promedio diarias registradas (33.7 a 44.9 °C) dentro del invernadero parecen haber representado condiciones adversas para el crecimiento del cultivar Biloxi (Figura 12). Al respecto, las temperaturas del aire mayores a 28°C afectan la tasa fotosintética al interferir en la estructura de los cloroplastos y afectan el crecimiento del tubo polínico (Roden y Ball, 1996; Javed *et al.*, 2014); además, la calidad del fruto se ve afectada por el aumento en las tasas de respiración, como resultado disminuyen los carbohidratos disponibles para el fruto (Darnell, 2000). Mientras que las temperaturas medias (21 °C) promueven una mayor diferenciación floral (Hall *et al.*, 1970), mejoran la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico, lo que propicia el amarre del fruto.

Muestreo de yemas con presencia o ausencia de diferenciación floral

En el primer muestreo (19 de febrero, 2019), el 87 % de las yemas de la zona apical ya estaban diferenciadas; hubo presencia de algún grado de iniciación y diferenciación floral en las yemas basales: 37 % y en las de la parte media: 43 %. En las yemas apicales se observaron hipsófilos que protegían a la flor apical, además de ramificaciones con alargamiento de entrenudos. En el muestreo del 25 de febrero de 2019 las yemas de la parte basal, media y apical mostraron evidencia de diferenciación; 65, 85 y 100 %, respectivamente. Además, en yemas apicales se registró alargamiento de los entrenudos, formación de la flor (Figura A1) y diferenciación floral basipétala, es decir, se inicia en la punta y prosigue hacia la base. En consecuencia, con base en esto, los tratamientos iniciaron el 27 de febrero de 2019.

Retamales y Hancock (2012) mencionaron que, en México, el arándano SHB, tiene dos periodos de inducción floral (primavera y verano); y un factor importante que regula su desarrollo es la temperatura. Al respecto, se requieren 21°C para este cultivo y días cortos de 8 h/luz para la inducción floral y promover mejor brotación de yemas. Exposiciones a temperaturas mayores de 28°C con 8 h/luz y 16 h/luz, la inducción floral es prácticamente nula y se reduce el número de yemas florales (Bañados y Strik, 2006; Pescie *et al.*, 2011; Spann *et al.*, 2004). De manera que, en el presente estudio en febrero se observó la inducción floral y las temperaturas registradas oscilaron entre 21 y 29°C.

Resultados variables respuesta

No se presentó interacción entre podas y biorreguladores para las variables evaluadas, por tanto, se analizó el efecto individual de los factores.

En general, la ausencia de poda en ramas laterales produjo significativamente ($p \leq 0.05$) mayor porcentaje de brotación de yemas (35) y en consecuencia mayor número de flores abiertas (278), contrario a la poda al 10 %; 27 yemas brotadas y 178 flores abiertas. En relación con el número de inflorescencias no se encontró diferencia significativa respecto al testigo

(Cuadro 7). El bajo número de yemas brotadas coincide con los resultados por Theron *et al.* (2011), quienes señalan que podas de despunte redujeron la brotación de yemas en plantas de higo 'Bourjasotte Noire' y 'Col de Damme'; en cambio, Bañados *et al.* (2009) encontraron que la poda efectuada en verano en arándano SHB promueve brotes laterales e induce más yemas florales, que el testigo.

Cuadro 7. Efecto de la poda en el porcentaje de brotación de yemas, número de inflorescencias, número de flores y amarre de furto en arándano 'Biloxi'.

Nivel Poda apical	Ramas Laterales		
	Yemas brotadas (%)	Inflorescencias (Núm./planta)	Flores (Núm./planta)
PODA 10%	27b	19a	178b
PODA 5%	31ab	24a	238ab
PODA 0% (Testigo)	35a	23a	278a
CV%	28	34	32

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Williamson *et al.* (2004) y Bañados *et al.*, (2007) indican que, a través del despunte de ramas se estimula la brotación de yemas inhibidas correlativamente por la yema apical y, en consecuencia, aumenta la cantidad de yemas florales por planta. Sin embargo, la condición de la yema bajo el corte proporciona la capacidad de responder al despunte; de manera que, cortes realizados en temporada tardía la brotación de yemas es nula debido a que su grado de inhibición es avanzado (Bañados *et al.*, 2007). Por tanto, el resultado sugiere que la poda ejercida el 27 de febrero en sistema de cultivo siempre verde bajo las condiciones de estudio, se encuentra en temporada tardía y no promueve brotes anticipados en arándano 'Biloxi'.

La reducción en el número de flores debida al tratamiento de poda más severa (10%) se puede deber al efecto debilitante que genera la poda; al eliminar hojas y brotes en fotosíntesis activa (Bañados *et al.* 2007) o simplemente a la eliminación de puntos de floración en la poda.

En cuanto a la mezcla de biorreguladores como promotores de brotación, la aplicación de TDZ + AG₃ + GLU + TRP en ramas laterales aumentó significativamente en 36% el porcentaje de yemas brotadas, en relación con el testigo (27 %) ($p \leq 0.05$) (Cuadro 8). La combinación de los cuatro biorreguladores indujo en ramas laterales mayor número de inflorescencias (26) y flores por planta (289); en contraste con el testigo (187 flores, 17 inflorescencias) ($p \leq 0.05$). Las variables número de flores en ramas centrales y el porcentaje de amarre de frutos no se vieron afectadas estadísticamente por los tratamientos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de biorreguladores en el porcentaje de yemas brotadas, número de inflorescencias, número de flores, amarre y días de flor a fruto en ramas laterales y número de flores en ramas centrales en arándano ‘Biloxi’ en invernadero.

Nivel Biorregulador (mg L ⁻¹)	Ramas Laterales					Ramas Centrales
	YB (%)	INFLO (Núm./planta)	Flores (Núm./planta)	Amarre (%)	DFF	Flor
TDZ 50 + AG ₃ 25	33ab	25a	251ab	96a	80ab	279a
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150	29ab	22ab	229ab	97a	86a	322a
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150	36a	26a	289a	93a	80ab	317a
GLU 150 + TRP 150	30ab	21ab	201ab	96a	84ab	368a
Testigo (Sin biorreguladores)	27b	17b	187b	95a	79b	364a
CV (%)	28	34	31		6.75	32

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

YB: Yemas brotadas; INFLO: inflorescencias; DFF: Días de flor a fruto. TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.



Figura 13. Efecto de la aplicación de biorreguladores (Thidiazurón, Ácido Giberélico, Ácido Glutámico y Triptófano) en la brotación de yemas de ramas laterales de arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero.

Resultados similares al efecto sinérgico entre TDZ y AG₃, se observaron en zarzamora ‘Comanche’, Manzana ‘Royal Gala’ y ciruelos ‘Santa Rosa’ y ‘Corazón Rojo’ al aumentar el porcentaje de yemas brotadas (Almaguer-Vargas *et al.*, 2000; Galindo-Reyes *et al.*, 2004; Fagundes *et al.*, 2017). Además, en higo ‘Bourjasotte Noire’ y ‘Col de Damme’, Theron *et al.* (2011), señalan que la aplicación de Lift® (Thidiazurón 3 g L⁻¹) aumentó el número de brotes, comparado con el testigo.

El resultado sugiere que la combinación de TDZ y AG₃ promueven la brotación de yemas, por efectos fisiológicos que involucran división y elongación celular generados por la acción del ácido giberélico (Inada *et al.*, 2000) y el efecto similar al de citocininas del TDZ (Guo *et al.*, 2011). Por esta razón, se sugiere que, al ingresar la molécula de thidiazurón en el tejido, ésta puede inhibir la actividad de la enzima citocinina oxidasa encargada de inactivar de manera irreversible a las citocininas (CKs), hormonas involucradas en la brotación de yemas axilares; O bien el TDZ puede competir formando unión con el receptor CRE1, de esta manera activa directamente la vía de respuesta de las CKs (Kieber, 2002).

Por lo anterior, el resultado obtenido en mayor brotación de yemas se debe al efecto del TDZ, pues el mecanismo de acción sugiere que por un aumento en las concentraciones de citocininas endógenas se contrarresta la dominancia apical; como resultado, se regulan los efectos inhibitorios de las auxinas, inicia el transporte de las citocininas a la yema axilar, y promueve división celular. Se sugiere que la señal de brotación en la yema permita que el AG₃ aplicado, inhiba a los inhibidores de crecimientos (proteínas DELLA) e induzca la expresión de proteínas regulatorias del ciclo celular (ciclinas), promueva ablandamiento de la pared celular y estabiliza la orientación de microtúbulos corticales, los cuales ayudan a estimular la elongación y dirigir el crecimiento (Inada *et al.*, 2000).

Además, la respuesta favorable de la mezcla de los cuatro biorreguladores en el número de flores e inflorescencias, se debe a dicho efecto del TDZ y AG₃ en promover la brotación de yemas y a su vez en el grado de diferenciación que estas presentaban en el momento de la aplicación de tratamientos. Los otros componentes como GLU y TRP estuvieron involucrados en la síntesis de otros aminoácidos y de auxinas importantes en el crecimiento del brote, para contrarrestar la demanda, pues George *et al.* (2008) encontraron que la aplicación de citocininas hace que el tejido vegetal tratado actúe como punto de demanda de aminoácidos.

Por su parte, las giberelinas median las respuestas al estrés a través de las proteínas DELLA, inducen germinación de semillas, movilización de reservas y promueven floración (Harberd *et al.*, 2009); además, intervienen en la formación de flores (Taiz y Zeiger, 2002). El ácido glutámico tiene un efecto en la fotosíntesis al ser precursor de la síntesis de clorofila en las hojas en desarrollo (Masclaux-Daubresse *et al.* 2006; Yaronskaya *et al.*, 2006).

La concentración a 50 mg L⁻¹ de TDZ no provocó crecimiento anormal del brote, visto como necrosis de yemas y aborto floral, como si se observó en el experimento anterior con la concentración de 100 mg L⁻¹ (Figura 7).

Del número total de flores, el 95 % en promedio se desarrollaron a fruto. Lo anterior depende de la concentración de hormonas y las reservas para atender las necesidades que requiere el crecimiento del fruto (Guardiola, 2004). Calderón-Zavala y Rodríguez-Alcázar (2000), comprobaron que aplicaciones de TDZ en durazno y ciruelo promueven brotación, pero no afecta el amarre del fruto, resultado que concuerda con lo obtenido en la investigación. Sin embargo, se ha reportado que las aspersiones foliares de TDZ y AG₃ en plena floración de pera ‘Shinsik’ incrementan el amarre de fruto y la producción (Hawerth *et al.*, 2011).

Por otro lado, aunque variedades de arándano se han descrito como auto fértiles, la presencia de insectos polinizadores es requerido, siendo la densidad de las abejas un factor determinante en el amarre de fruto (Retamales y Hancock, 2012). En este contexto, la polinización exitosa depende de la receptividad de la flor, el grado de auto-fertilidad y la disponibilidad de recursos para el crecimiento del fruto (Schermer *et al.*, 2001).

El inicio del periodo de floración se presentó en las dos primeras semanas de marzo para los diferentes tratamientos; la poda tanto al 5 como al 10 % combinado con la aplicación de biorreguladores retrasó la floración (Figura 14 a, b) al observar mayor número de flores, por ejemplo a los 30 ddt, en comparación con los tratamientos químicos en plantas no podadas; éstas tuvieron una floración más profusa al mes de iniciados los tratamientos (Figura 14); además, influyó en el número final de flores laterales/planta. En ramas laterales sin poda la apertura floral inició 10 ddt (Figura 14 c), mientras que en ramas con poda al 10 % inició a los 23 ddt. El periodo de floración duró 116 días y la última floración se registró el 04 de julio de 2019 (127 ddt) en todos los tratamientos.

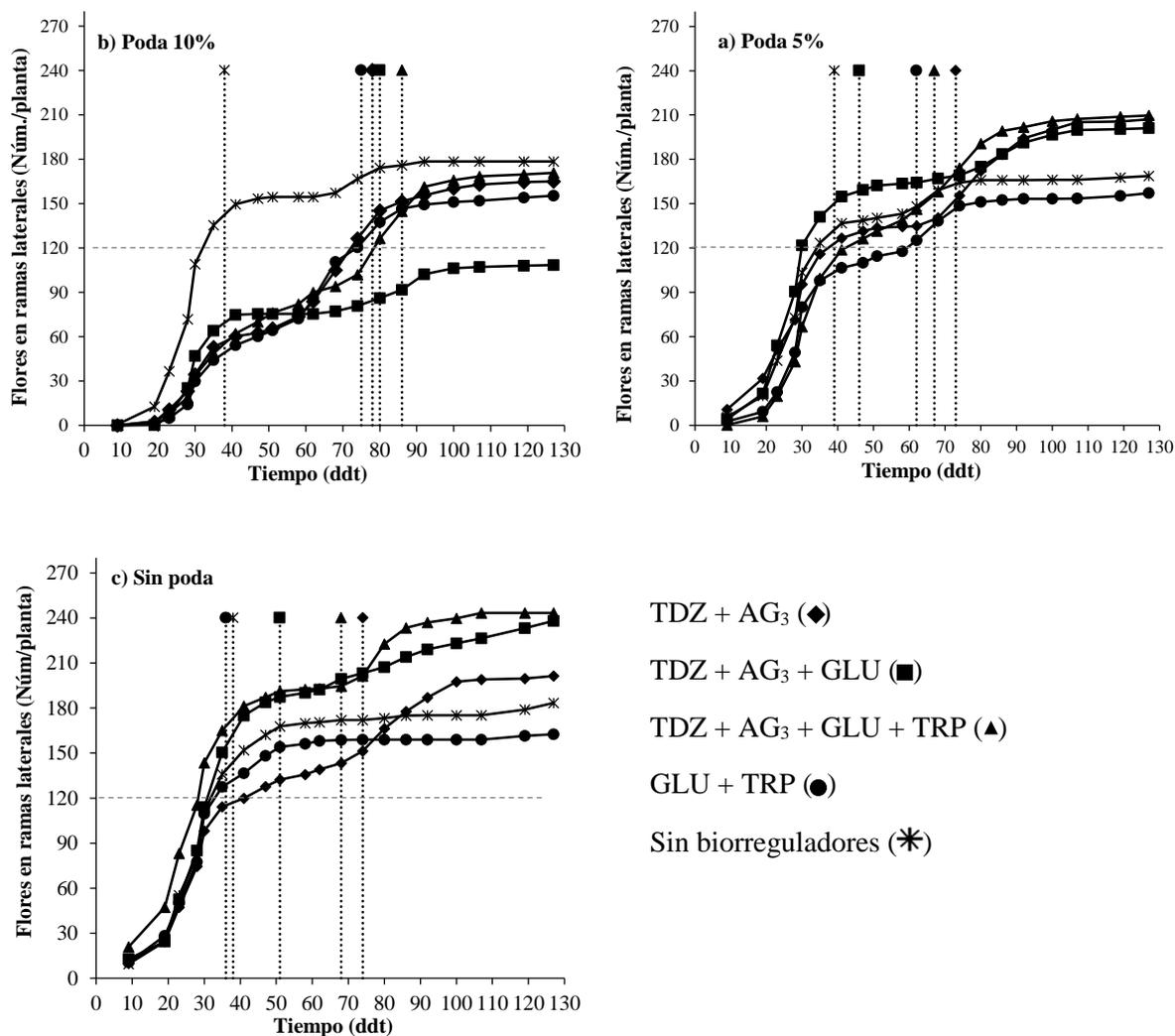


Figura 14. Dinámica de floración en ramas laterales de arándano ‘Biloxi’ días después de la poda a 5% (a), 10% (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores: TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano. Las líneas verticales indican la floración completa (80% de flores abiertas) para cada tratamiento.

En general, la interacción entre poda y aspersión de biorreguladores resultó en una floración tardía (80 % de flores abiertas); en plantas podadas al 5% se observó un atraso de la plena floración en 7 y 34 ddf (días después de inicio de la floración) y en plantas con poda al 10 % en 36 y 47 ddf, contrario al testigo, que registró un carácter precoz con la plena floración a los 30±1 ddf.

El inicio de la floración (primera semana de marzo) en este cultivar (Biloxi) coincide con una floración precoz, que es una característica del arándano SHB, dada por el bajo requerimiento de frío para iniciar la brotación. El resultado que provocó la aspersión de los

bioreguladores para la dinámica de floración no coincide con el efecto del TDZ observado en Ciruelo Japonés al adelantar el inicio de la floración en 8 días (Alvarado-Raya *et al.*, 2000) y al efecto en chabacano (*Prunus armeniaca*) donde el TDZ más aceite, adelantaron la floración y se presentó con mayor uniformidad (Campoy *et al.*, 2010).

La aplicación de TDZ, AG₃ y GLU prolongó el periodo de antesis a cosecha en 86 días de flor a fruto (DFF), diferente ($p \leq 0.05$) a plantas sin aplicación de bioreguladores, necesitaron 79 días para el desarrollo de antesis a fruto (Cuadro 8). Darnell, (2006) indica que, en arándano tipo SHB el periodo de desarrollo del fruto varia de 55 a 60 días dependiendo la variedad; y coincide con Nesmith *et al.* (2006), quienes reportan el periodo de desarrollo de fruto para los siguientes cultivares de arándano: Alapaha 75.3 días; Austin 81.7 días; Premier 82.3 días; Climax 84.4 días; Brightwell 87.4 días; Tifblue 92.2 días; Ochlockonee 93.9 días, bajo condiciones ambientales de dos ubicaciones en Georgia; Alapaha, se encuentra en la región costera atlántica costera del estado y Griffin, Georgia, que se encuentra en la región de Piedmonte del estado.

Sin embargo, en el desarrollo de fruto intervienen factores como la temperatura, la disponibilidad de sustrato metabólico y la competencia de fotoasimilados generada por el número de frutos; además, el ácido glutámico ocupa un papel central en el metabolismo de los aminoácidos y del nitrógeno, los cuales intervienen en el desarrollo del fruto (Forde y Lee. 2007; Kan *et al.*, 2017).



Figura 15. Etapas de crecimiento de botón floral a fruto maduro en arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero, Montecillo Estado de México.

Rendimiento y dinámica de producción

El periodo de cosecha en ramas laterales y centrales fue el mismo en todos los tratamientos (69 días) (Figura 16). En general, se observó un pico importante de producción a los 112 ddt (19 de junio), sin embargo, el tratamiento con TDZ + AG₃ + GLU en plantas sin poda promovió dos picos de producción, el primero a los 92 ddt (30 de mayo) y el segundo fue más marcado y ocurrió a los 112 días de la aplicación (19 de junio).

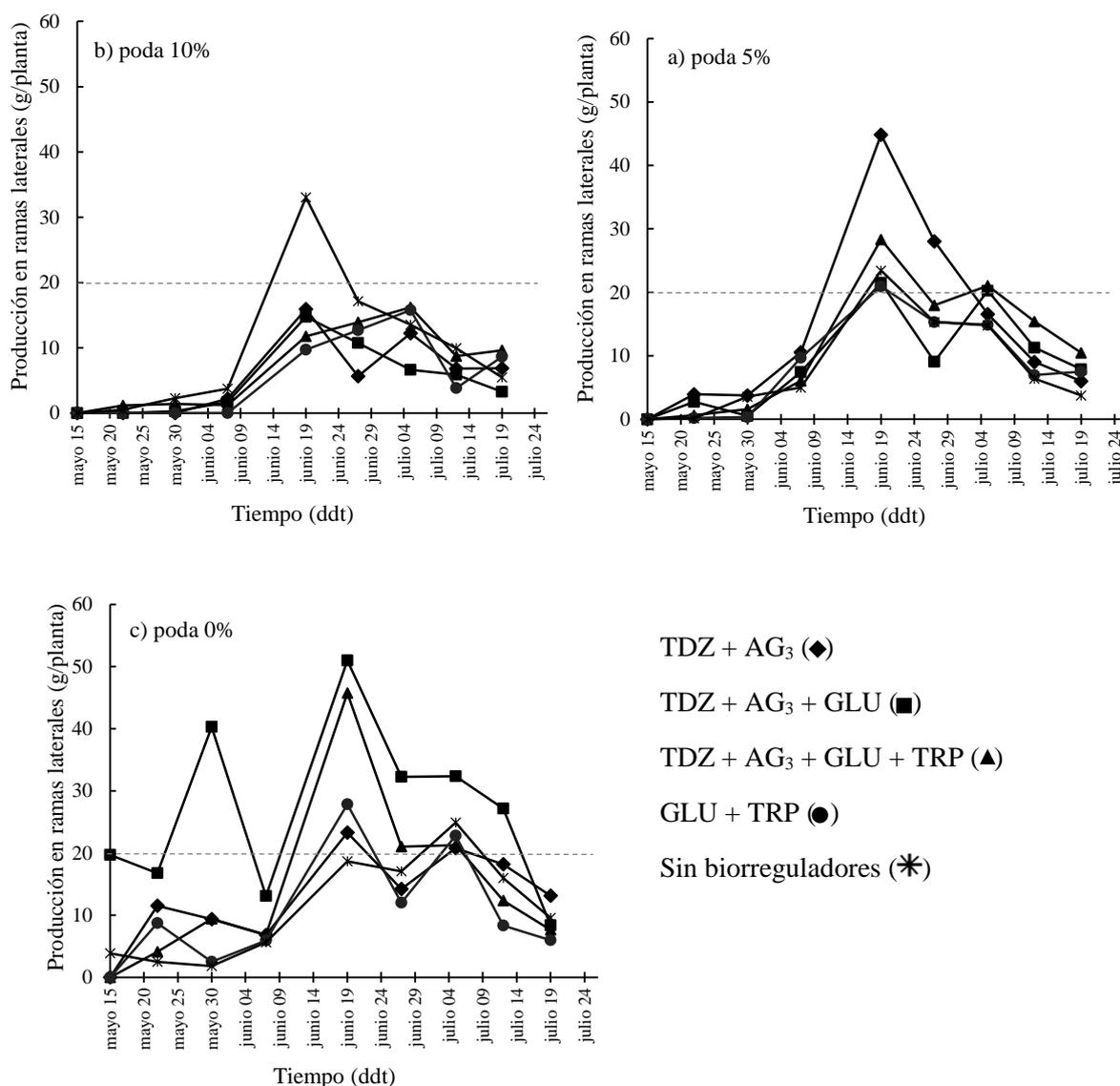


Figura 16. Dinámica de producción en ramas laterales de arándano 'Biloxi' después de la poda a 5% (a), 10% (b) y en plantas sin podar (c) combinado con la aplicación de biorreguladores TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.

Los frutos en ramas centrales comenzaron a cosecharse después de 77 días de la aplicación, el periodo de cosecha duró 66 días y en general se observó un pico de producción a los 112 ddt (junio) (Figura 17).

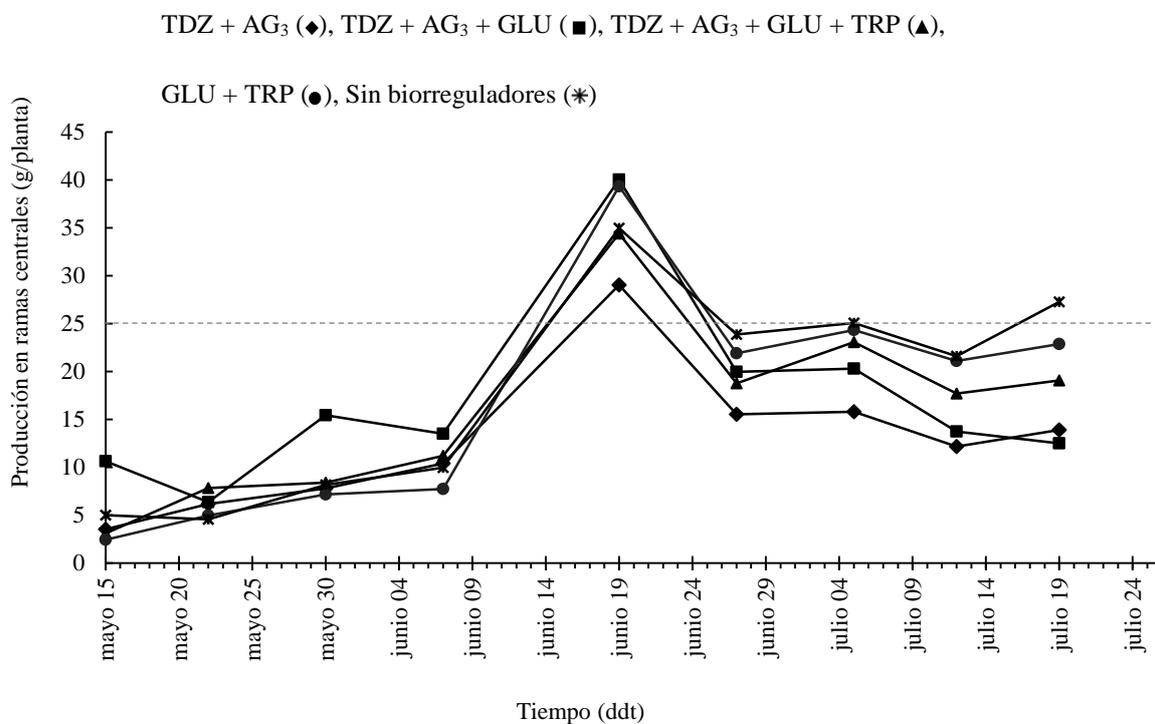


Figura 17. Dinámica de producción en ramas centrales de arándano ‘Biloxi’ días después del inicio de la aplicación de biorreguladores. TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.

En ramas laterales no se registraron aumentos ($p > 0.05$) en el número de frutos, peso de frutos por efecto de la intensidad de poda (Cuadro 9). Mientras que se destacan las plantas asperjadas con TDZ, AG₃, GLU y TRP, produjeron el mayor número de frutos (212) y mayor rendimiento (212 g en ramas/planta); las plantas testigo obtuvieron el menor número de frutos (138) y el menor rendimiento (98 g en ramas/planta) (Cuadro 9). En ramas centrales se registraron diferencias ($p \leq 0.05$) en el número y peso de frutos por planta, sin embargo, el resultado no se reflejó en el rendimiento total que fue no significativo. Se registró el mayor número de frutos en el tratamiento con GLU más TRP, correspondiente a 447, y el mayor peso de fruto con la aspersión de TD + AG₃ + GLU, correspondiente a 1.17 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la aplicación de biorreguladores y poda en el peso, número y diámetro de frutos en ramas laterales y centrales en arándano ‘Biloxi’ en invernadero.

Tratamiento (mg L ⁻¹)	Ramas Laterales			Ramas Centrales		
	Frutos (Núm.)	Producción (g/planta)	PF (g/fruto)	Frutos (Núm.)	Producción (g/planta)	PF (g/fruto)
Biorregulador						
TDZ 50 + AG ₃ 25	191ab	190a	1.31a	360bc	361a	0.99b
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150	148ab	140ba	1.16a	342c	383a	1.17a
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150	212a	211a	1.18a	358bc	377a	1.04b
GLU 150 + TRP 150	162ab	127ba	0.93b	447a	360a	0.78c
Testigo (Sin biorreguladores)	138b	98b	0.89b	415ab	344a	0.82c
Poda						
10 %	164a	134a	1.07a			
5 %	167a	155a	1.08a			
0 %	180a	171a	1.13a			
CV (%)	30	43	16	32	28	10

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

PF: Peso de fruto; TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.

En ramas laterales el mayor peso de fruto (1.31 g/fruto) se registró con el tratamiento de TDZ más AG₃, contrario al testigo (0.89 g), y en ramas centrales fue la combinación de TDZ + AG₃ + GLU quien propició frutos con mayor peso (1.17 g). Se obtuvo un peso promedio de fruto de 1.03 g, lo cual está en el rango óptimo en cosecha para este cultivo (0.8 g a 3.4 g) (Spiers y Stringer, 2002), y es contrario a lo reportado por Yang *et al.* (2019) quienes encontraron para Biloxi un peso promedio de fruto de 0.64 g.

La significancia en la brotación de yemas florales por efecto de la aspersión de TDZ (50 mg L⁻¹), AG₃ (25 mg L⁻¹) y GLU (150 mg L⁻¹) provocó un incremento en el número de frutos, peso promedio de fruto y en consecuencia mayor rendimiento. Contrario a la investigación previa a este experimento parte de esta misma investigación, en el periodo 2018 se hicieron aplicaciones de TDZ (100 mg L⁻¹), AG₃ (25 mg L⁻¹), GLU (150 mg L⁻¹) y TRP (150 mg L⁻¹), con la cual se observó necrosis de yemas y menor rendimiento (Capítulo I). Asimismo, el resultado es diferente a lo obtenido por Loera-Alvarado *et al.* (2017) quienes hicieron aplicaciones de la

combinación de biorreguladores con poda y no reportan diferencias ($p > 0.05$) en producción y calidad de fruto en plantas de arándano asperjadas con 80 mg L^{-1} TDZ + 50 mg L^{-1} AG₃ + 10 % de poda con respecto al testigo. Al respecto, en cultivos *in vitro* Prathanturarug *et al.* (2003) reportaron que altas concentraciones de citocininas como kinetina y TDZ disminuyen la multiplicación de células en *Curcuma longa*, y provocaron deformación de brotes en *Gerbera jamesoni* (Olivera *et al.*, 2000).

Probablemente el efecto negativo de una mayor concentración del TDZ ocurrió debido a que es una difenilurea con actividad citocinínica y, por lo tanto, es resistente a la degradación por acción de la enzima citoquinina oxidasa y su composición hace que el TDZ sea persistente en los tejidos vegetales (Zayed y Elbar, 2015; Pai y Desai, 2018). Por tanto, posiblemente los tratamientos aplicados con una concentración de TDZ de 100 mg L^{-1} mezclado con AG₃, GLU y TRP, promovieron un número excesivo de yemas brotadas en la planta, lo que generó mayor competencia por fotoasimilados. De manera que la alta tasa de división celular propiciada por el TDZ, una posible limitación de carbono y el desbalance hormonal provocado por altas concentraciones promovió necrosis de los brotes.

La falta de efecto significativo de la poda en el peso de fruto, número de frutos y rendimiento contrasta con Kovaleski *et al.* (2015), quienes encontraron que la poda intensa sobre arándano ‘Jewel’ promovió mayor rendimiento, aunque atrasó significativamente la cosecha. A su vez, contrasta con Souza *et al.* (2014) quienes descubrieron que la poda intensa en arándano rabbiteye redujo el rendimiento y atrasó la cosecha. Lo anterior, resultado del retraso en el desarrollo de las yemas florales por efecto de la poda, como lo encontraron Bañados *et al.* (2009) y Pescie *et al.* (2011).

Por otro lado, con relación al peso de fruto, Jorquera-Fontena *et al.* (2014) indican que a mayor intensidad de poda, aumenta el peso de la baya, pero esto no compensa la pérdida de

rendimiento por planta, lo que concuerda con Kovaleski *et al.*, (2015), quienes encontraron que la poda intensa reduce la disponibilidad de carbono para el llenado de frutos al disminuir el área fotosintética, por lo tanto, disminuye las reservas de la planta y provoca menor tamaño del fruto (McFadyen *et al.*, 2011).

No se obtuvieron diferencias significativas en producción total por planta para las combinaciones de poda (10, 5 y 0%) y las diferentes mezclas de biorreguladores (thidiazurón, ácido giberélico, ácido glutámico y triptófano). Sin embargo, se presentó un rendimiento entre 436 – 660 g/planta; la mayor producción por planta se obtuvo con el tratamiento de poda 5% combinado con la aspersión de TDZ + AG₃, correspondiente a 660 g/planta, y la menor producción por planta se obtuvo en el tratamiento testigo (sin poda y sin aplicación de biorreguladores), correspondiente a 436 g/planta.

El periodo en que se dio la mayor producción (junio- julio) no coincide con la ventana de comercialización en Estados Unidos para coincidir con mayores precios. Al respecto, para lograr un adelanto de la producción en la temporada se requiere una variedad con un periodo cortó de flor a fruto (Lyrene, 2004), conocer los periodos de inducción floral, la diferenciación floral, el desarrollo del fruto y tener en cuenta los factores ambientales.

El análisis de varianza para la variable calibre y firmeza en ramas centrales no indicó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) entre los distintos tratamientos. No obstante, en ramas laterales la aplicación de TDZ más AG₃ promovió el mayor diámetro (14.9 mm) e incluso mayor firmeza en los frutos (2.2 N); el menor diámetro se obtuvo con la mezcla de GLU+ TRP y con el testigo, correspondiente a 12.6 y 13.0 mm respectivamente, y concuerda con los frutos menos firmes (1.7 N) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la poda y aplicación de biorreguladores en el calibre, diámetro y firmeza de frutos en ramas laterales y centrales en arándano ‘Biloxi’ en invernadero.

Tratamiento (mg L ⁻¹)	Ramas Laterales					Ramas Centrales				
	% Frutos			D (mm)	FR (N)	% frutos			D (mm)	FR (N)
	<10 mm	11-15 mm	>16 mm			<10 mm	11-15 mm	>16 mm		
Biorregulador										
TDZ 50 + AG ₃ 25	0	68	32	14.9a	2.2a	5	88	7	12.6ab	1.9a
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150	0	77	23	14.2a	1.9b	2	73	25	12.9a	2.0a
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150	0	82	18	13.9ba	1.9b	2	85	14	13.5a	1.9a
GLU 50 + TRP 150	1	93	6	12.6c	1.7b	6	92	1	11.6c	1.9a
Testigo (Sin biorreguladores)	2	94	4	13.0bc	2.0ab	8	90	3	12.4bc	1.8a
Poda										
10 %	0	85	15	13.7a	1.9a					
5 %	0	84	15	13.8a	2.0a					
0 %	2	79	19	13.7a	2.0a					
CV (%)	6.24				8.9	23				10

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

D: Diámetro de fruto; FR: Firmeza de fruto; TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.

En arándano tipo SHB, el calibre del fruto, medido como diámetro en mm se clasifica en; calibre pequeño (\leq a 10 mm), mediano (entre 11 y 15 mm) y fruto grande (\geq a 16 mm), de acuerdo con el Departamento de Extensión de la Michigan Blueberry Growers (MBG) (Godoy, 2002). Al respecto, en esta evaluación, todas las plantas incluyendo las testigos lograron producir más del 70 por ciento de los frutos de calibre mediano; entre 11 y 15 mm, con diámetro promedio en la totalidad de los frutos de 13.1 mm (Cuadro10), y de acuerdo con Araya y Escudero (2002), se encuentra dentro de los calibres requeridos para la exportación de arándanos, los cuales corresponden a 9.0 mm, no obstante el diámetro pueden variar de 0.7 a 1.8 cm (Gough, 1994).

La aspersión de biorreguladores no influyó de manera negativa en la calidad del fruto dada por peso, firmeza y diámetro de fruto, pues el tratamiento con TDZ + AG₃ indujo mayor número de frutos, los cuales coinciden con mayor peso de fruto, mayor diámetro y mayor

firmeza. No obstante, Kovaleski *et al.* (2015) sugieren que el tamaño no es el único factor que influye en la firmeza, pues temperaturas extremas y la luz solar en la etapa de maduración del fruto provoca un incremento en la respiración y por consiguiente se inician alteraciones en la pared celular que generan ablandamiento de los tejidos, por tanto, menor firmeza (Ahmed y Labavitch, 1980).

El exceso de fructificación en las plantas jóvenes reduce el rendimiento (Strik *et al.*, 2003) y la calidad del fruto (Léchaudel *et al.* 2005); pues la competencia por asimilados causa disminución del volumen, maduración lenta y baja calidad de los frutos (Zhang *et al.* 2018). Además, el número de semillas, el efecto de los insectos polinizadores, la temperatura, la cantidad de frutos en la planta y la disponibilidad de agua, interfieren en el tamaño de la baya (Retamales y Hancock, 2012).

No se encontraron diferencias significativas en el contenido de antocianinas totales, fenoles totales, vitamina C y acidez titulable (Cuadro 11); lo que indica que la calidad nutracéutica del fruto no se afectó por la poda y los biorreguladores estudiados. Resultado que concuerda con lo reportado por Galindo-Reyes (2004), quienes indican que los reguladores de crecimiento (TDZ, AG₃) no afectaron la calidad de fruto en zarzamora ‘Comanche’.

Cuadro 11. Efecto de la aplicación de biorreguladores y poda en el contenido de antocianinas totales, fenoles totales, vitamina C, acidez titulable y sólidos solubles totales en frutos frescos de arándano ‘Biloxi’ en invernadero.

Tratamiento (mg L ⁻¹)	Muestra compuesta				Laterales	Centrales
	CTA	CTF	VC	AT	CSST	CSST
	mg/100 g	mg EAG/ 100 g	mg/100 g	(% Ácido cítrico)	°Brix	°Brix
Biorregulador						
TDZ 50 + AG ₃ 25	311.7a	465.4a	41.0a	0.78a	12.9ab	13.3a
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150	272.2a	460.6a	41.1a	0.74a	13.6a	13.6a
TDZ 50 + AG ₃ 25 + GLU 150 + TRP 150	292.5a	444.4a	40.5a	0.66a	13.3ab	13.5a
GLU 50 + TRP 150	304.1a	481.4a	41.8a	0.62a	11.71b	14.0a
Testigo (Sin biorreguladores)	312.2a	448.3a	39.9a	0.71a	13.4ab	13.5a
Poda						
10 %	289.9a	476.4a	41.2a	0.70a	12.4a	
5 %	307.9a	434.0a	39.6a	0.72a	13.3a	
0 %	297.9a	469.0a	41.8a	0.69a	13.3a	
CV (%)	23	13	12	27	8	8

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

CTF: Contenido total de fenoles; CTA: Contenido total de antocianinas; VC: Vitamina; AT: acidez titulable; TDZ: thidiazurón; AG₃: ácido giberélico; GLU: ácido glutámico; TRP: triptófano.

En relación con sólidos solubles totales (°Brix), el efecto del tratamiento con poda al 10% más la aspersión de TDZ y AG₃ fue mayor ($\alpha = 0.05$) que el biorregulador con GLU + TRP, no tuvo diferencia de efecto con el testigo (Cuadro 11). El valor de ° Brix promedio fue de 13° lo que coincide con Forney *et al.* (2012), quienes indican que niveles superiores a 10 °Brix en arándano son un buen criterio de cosecha, sin embargo, el fruto de este cultivar puede alcanzar más de 15 % en el contenido de sólidos solubles (Yang *et al.*, 2019).

Como resultado del análisis realizado para la calidad del fruto, en promedio, el contenido de antocianinas totales encontrado en las bayas fue de 281 mg/100g, resultado que coincide con (Yang *et al.*, 2019), quienes detectaron una concentración de antocianinas de 251.00 mg / 100 gFW) en el cv. Brightwell; y Okan *et al.* (2018), reportaron una concentración que varió

entre 43.03-295.06 mg c³ GE / 100 g. Sin embargo, el resultado es inferior a lo reportado por Spiers *et al.* (2002), en 'Biloxi', con valores de 90 ACY cultivados en Estados Unidos.

El contenido de fenoles totales osciló entre 434 y 469 mg EAG/100 g, resultado superior a lo reportado por Loera-Alvarado *et al.* (2017), donde el contenido medio de fenoles osciló entre 172 y 214 mg 100⁻¹ por gramo equivalente de ácido gálico (EAG). No obstante, los datos obtenidos fueron similares a los valores observados por Moyer *et al.* (2002), quienes reportaron niveles de fenoles totales que varían entre 171 y 868 mg de equivalente ácido gálico 100 g⁻¹ de fruta. La acidez titulable promedio fue de 0.70 (% ácido cítrico) (Cuadro 11) resultado inferior a lo encontrado por Spiers *et al.* (2002), quienes encontraron que el cv. Biloxi presenta alrededor de 0.97 % de acidez titulable.

Sin embargo, el contenido de fenoles totales puede presentar una gran variabilidad incluso dentro del mismo cultivar y de la misma localidad. Esta variabilidad es debido a que existen factores que pueden afectar el nivel de fenoles, tales como la madurez de la fruta, época de maduración, condiciones ambientales de precosecha, además del método utilizado para la determinación de fenoles (Clark *et al.*, 2002).

El contenido de vitamina C promedio fue de 40.8 mg/100 g. Ochmian *et al.* (2008), reportaron valores de vitamina C entre 22.4 y 34.1 mg 100 g⁻¹ para arándano cv. Sierra; mientras que Lata *et al.* (2005) encontraron valores de 25.2 y 30.6 mg 100 g⁻¹ en arándanos cv. Darrow y Bluecrop, respectivamente. En relación con la fresa (*Fragaria* spp.) el contenido de vitamina C es más alto, el cual disminuye entre 2.5 y 12 % (0.05 a 0.15 mg ácido ascórbico g de tejido) (Beltrán *et al.*, 2010).

No se encontraron diferencias significativas en el color del fruto. El color del fruto se estudió considerando la luminosidad en la cual no existieron diferencias, lo que indica que el brillo no fue diferente por efecto de los tratamientos (Pr > F = 0.7205).

2.6. CONCLUSIONES

La falta de poda en ramas laterales produjo mayor porcentaje de brotación de yemas y mayor número de flores abiertas; además, la poda al 10% combinado con la aplicación de biorreguladores retrasó la floración e influyó en el número final de flores laterales/planta. Por lo anterior, la poda ejercida el 27 de febrero bajo las condiciones de estudio, se encuentra en temporada tardía y no promueve brotes anticipados en arándano 'Biloxi'.

La aplicación de TDZ (50 mg L⁻¹) + AG₃ (25 mg L⁻¹) + GLU (150 mg L⁻¹) + TRP (150 mg L⁻¹) en ramas laterales aumentó significativamente (con relación al testigo) porcentaje de yemas brotadas, indujo en ramas laterales mayor número de flores e inflorescencias y finalmente mayor número de frutos y de mayor tamaño, todo lo cual, en consecuencia, resultó en un incremento en el rendimiento.

La calidad de los frutos, en relación con contenido de fenoles, antocianinas, vitamina C, concentración de sólidos solubles, color y acidez titulable no se vio afectada por los tratamientos aplicados. Sin embargo, cuando los tratamientos incluyen TDZ y AG₃ se obtienen más frutos por planta, de mayor diámetro y de peso individual significativamente superior.

2.7. LITERATURA CITADA

- Ahmed A. E., and J. M. Labavitch. 1980. Cell wall metabolism in ripening fruit. In: cell wall changes in ripening 'bartlett' pears. *Plant Physiology* 65: 1009-1013.
- Almaguer-Vargas G., J. Espinosa-Espinosa, A. Luna-Contreras, y J. Paz-Solórzano. 2000. Chemical bud break sprays in japanese plum (*Prunus salicina* lind.) 'Shiro' and 'Santa Rosa'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6:111-115.
- Alvarado-Raya H., Rodríguez-Alcázar, J., Calderón-Zavala, G. y Elizabeth, C. S. 2000. El thidiazurón, la brotación floral y las dimensiones del ovario en ciruelo japonés (*Prunus salicina* L.) 'SHIRO'. *Agrociencia* 34: 321-327.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis of AOAC International. 1984. 14^a edition. USA. 1006 p.
- Bañados M. P. and Strik, B. 2006. Manipulation of the Annual Growth Cycle of Blueberry Using Photoperiod. *Acta Horticulturae* 715: 65-72.

- Bañados M. P., P. Uribe, and D. Donnay. 2009. The effect of summer pruning date in ‘Star ‘ONeal’ and ‘Elliott’. Proc. IXth IS on Vaccinium. Eds.: K.E. Hummer et al. Acta Hort. 810: 501-507.
- Bañados P., D. Donnay, y P. Uribe. 2007. Poda en Verde en Arándano. Agronomía y Forestal. Número 31: 16-19.
- Beltrán A., M. Ramos, y M. Alvarez. 2010. Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con radiación ultravioleta de onda corta (UV-C). Revista Tecnológica ESPOL – RTE 23: 17-24.
- Calderón-Zavala G., J. Rodríguez-Alcázar. 2000. Thidiazuron (N-Phenil-N1-(1,2,3-Thidiazol-5-Yl) Urea) as promoter of budbreak on peach (*Prunus Persica* L. Batsch) and Japanese plum (*Prunus Salicina* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 6: 117-120.
- Campoy J. A., D. Ruiz, and J. Egea. 2010. Effects of shading and thidiazurón + oil treatment on dormancy breaking, blooming and fruit set in apricot in a warm-winter climate. Scientia Horticulturae 125: 203-210.
- Darnell R. L. 2006. Blueberries botany environmental physiology. In: Childers N. F., and Lirene P. M. ed. Blueberries for Growers, Gardeners and Promoters. Dr. Norman E. Childers Publications, Gainesville, Florida, pp. 5-13.
- El-Bassiouny H., M., S., and A. Abdel-Monem A. 2016. Role of tryptophan or prozac (5-hydroxytryptamine) on some osmolytes and antioxidant defense system of sunflower cultivars grown in saline soil. International Journal of ChemTech Research 6:107-120.
- Fagundes E., J. L. Petri, L. C. Argenta, F. J. Hawerth and M. Couto. 2017. Effect of thidiazurón concentration and application period on “Royal Gala” apple fruiting and production. Revista Brasileira de Fruticultura 39:4.
- Forde B. G. and Lea, P. J. 2007. Glutamate in plants: Metabolism, regulation, and signaling. Journal of Experimental Botany 58: 2339-2358.
- Forney C. F., W. Kalt, M. A. Jordan, M. R. Vinqvist-Tymchuk, and S. A. Fillmore. 2012. Compositional changes in blueberry and cranberry fruit during ripening. Acta Horticulturae 926:331-338.
- Galindo-Reyes M., A., V. Gonzáles-Hernández A., A. Muratalla-Lúa, M. Soto-Hernandez R., y M. Livera-Muñoz. 2004. Producción forzada en zarzamora ‘Comanche’ mediante reguladores de crecimiento. Horticultura 10:205-209.
- George E. F., M. A Hall, G. J. Klerk. 2008. Plant growth regulators II: cytokinins, their analogues and antagonists. In: George E. F., M. A Hal, G. J. MA (eds). Plant propagation by tissue culture. Springer, Dordrecht.

- Gilbert J. L., J. W. Olmstead, T. A. Colquhoun, L. A. Levin, D. G. Clarck, and H. R. Moskowitz. 2014. Consumer-assisted selection of blueberry fruit quality traits. *HortScience* 49: 864-873.
- Gough R. E. 1997. Blueberries-North and South Blueberries- North and South. *Journal of Small Fruit & Viticulture* ISSN 4: 71-106.
- Guardiola B. J. L. 2004. Cuajado del fruto, aspectos hormonales y nutricionales. Universidad Politécnica de Valencia, España. Disponible en: <http://www.concitur.com/archivosenpdf/aspectoshormonales.pdf>. Agosto 2019.
- Guo B., Abbasi, B. H., Zeb, A., Xu, L. L. and Wei, Y. H. 2011. Thidiazuron: A multi-dimensional plant growth regulator. *African Journal of Biotechnology* 10:8984-9000.
- Harberd N. P., Belfield, E. and Yasumura, Y. 2009. The Angiosperm Gibberellin-GID1-DELLA Growth Regulatory Mechanism: How an 'Inhibitor of an Inhibitor' Enables Flexible Response to Fluctuating Environments. *The Plant Cell Online* 21: 1328-1339.
- Hawerth F. J., F. G. Herter, J. C. Fachinello, J. L. Petri, M. E. Prezotto, L. B. Haas, y A. Pretto. 2011. Aumento de la producción de pera asiática mediante el uso de fitoreguladores. *Ciencia Rural* 41: 1750-1754.
- Inada S., Tominaga, M. and Shimmen, T. 2000. Regulation of root growth by gibberellin in *Lemna minor*. *Plant and Cell Physiology* 41: 657-665
- Jagota, S. K., and H. M. Dani. 1982. A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using Folin phenol reagent. *Analytical Biochemistry* 127: 178-182.
- Javed N., M. Ashraf, A. Q. Fahad, and N. A. Akram. 2014. Integration of physio-biochemical processes at different phenological stages of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants in response to heat stress. *Pakistan Journal of Botany* 46:2143-2150.
- Jiang Y., D. Joyce C., and L. Terry A. 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biology and Technology* 23:227-232.
- Jorquera-Fontena E., M. Alberdi, and N. Franck. 2014. Pruning severity affects yield, fruit load and fruit and leaf traits of 'Brigitta' blueberry. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 14: 855-868.
- Kalt W, J. E. McDonald, and H. Donner. 2000. Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity of processed lowbush blueberry products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 65:390-393.
- Kan C., T. Y. Chung, H. Y. Wu, Y. A. Juo, and M. H. Hsieh. 2017. Exogenous glutamate rapidly induces the expression of genes involved in metabolism and defense responses in rice roots. *BMC Genomics* 18:186.

- Kauffman G. L., D. P. Kneivel and T. L. Watschke. 2007. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *Crop Sci.* 47: 261-267.
- Khuong T., Y. Zheng, C. Chao, and C. Lovattl. 2010. Foliar-applied tryptophan, a precursor of IAA biosynthesis *In: Proceedings of the 37th Annual Meeting of the Plant Growth Regulation Society of America, Portland, Oregon, USA pp. 97-101.*
- Kieber J. J. 2002. Cytokinins, *in The Arabidopsis*. American Society of Plant Biologists. e0063. 25p.
- Kovaleski A. P., R. L. Darnell, B. Casamali, and J. G. Williamson. 2015. Effects of timing and intensity of summer pruning on reproductive traits of two southern highbush blueberry cultivars. *HortScience* 50: 1486-1491.
- Łata B., A. Trąpczyńska, and A. Mike. 2005. Effect of cultivar and harvest date on thiols, ascorbate and phenolic compounds content in blueberries. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.* 4: 163-171.
- Loera-Alvarado M., G. Calderón-Zavala, P. Sánchez-García, y A. Rebollar-Alviter. 2017. Aspersión de thidiazurón y ácido giberélico combinado con poda sobre fenología del arándano (*Vaccinium* spp.). *Agroproductividad* 10:121-127.
- Masclaux-Daubresse C., M. Reisdorf-Cren, K. Pageau, M. Lelandais, O. Grandjean, J. Kronenberger, M. H. Valadier, M. Feraud, T. Jouglet, and A. Suzuki. 2006. Glutamine synthetase–glutamate synthase pathway and glutamate dehydrogenase play distinct roles in the sink source nitrogen cycle in tobacco. *Plant Physiology* 140: 444–456.
- McFadyen L., D. M. Robertson, M. Sedgley, P. Kristiansen, and T. Olesen. 2011. Post-pruning shoot growth increases fruit abscission and reduces stem carbohydrates and yield in macadamia. *Ann. Bot.* 107: 993-1001.
- Moon J.W., J. F. Hancock, A. D. Draper, and J. A. Flore. 1987. Genotypic differences in the effect of temperature on CO₂ assimilation and water use efficiency in blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112, 170–173.
- Mustafa A., A. Hussain, M. Naveed, A. Ditta, Z. Nazli, and A. Sattar. 2016. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* L) to soil and foliar applied L-tryptophan treatment. *Plant Growth Measurements Agronomic Parameters* 35:76-84.
- NeSmith D. S. 2006. Fruit Development Period of Several Rabbiteye Blueberry Cultivars. *Acta Hort.* 715: 137-142.
- Ochmian I., J. Grajkowski, and K. Skupien. 2008. Effect of three substrates on fruit and leaf chemical composition of highbush blueberry 'Sierra' cultivar. *Electronic Journal of Polish*

- Agricultural Universities. Series: Horticulture 11(4). Available Online: <http://www.ejpau.media.pl/volume11/issue4/art-12.html>.
- Okan O. T., I. Deniz, N. Yaily, I. G. Sat, M. Oz, and G. Hatipoglu-Serdar. 2018. Antioxidant Activity, Sugar Content and Phenolic Profiling of Blueberries Cultivars: A Comprehensive Comparison. *Not. Bot. Horti. Agrobi.* 46:639-652.
- Pai, S. R., and N. S. Desai. 2018. Effect of TDZ on Various Plant Cultures. Thidiazuron: From Urea Derivative to Plant Growth Regulator 439–454.
- Pérez-Barraza M. H., Osuna-Enciso, T., Gutiérrez-Espinosa, M. A., De Jesús Santiago-Cruz, M., Avitia-García, E. and Cano-Medrano, R. 2015. Thidiazurón y ácido giberélico en amarre y tamaño de frutos de Mango ‘Ataulfo’ polinizados y partenocárpicos, *Interciencia*, 40: 677–683.
- Pescie M., Lovisolo, M., De Magistris, A., Strik, B. and López, C. 2011. Flower bud initiation in southern highbush blueberry cv. O’Neal occurs twice per year in temperate to warmtemperate conditions. *Journal of Applied Horticulture* 13: 8–12.
- Prathanturarug, S., N. Soonthornchareonnon, W. Chuakul, Y. Phaidee, B. Ruffoni, and C. Mascarello. 2000. La propagazione dei *Limonium* ornamentali speciale *Limonium*. *Flortecnica* 5: 101-110.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rao S. R., A. Qayyum, A. Razzaq, M. Ahmad, I. Mahmood, and A. Sher. 2012. Role of foliar application of salicylic acid and L-Tryptophan in drought tolerance of maize. *Journal of Animal and Plant Sciences* 22:768-772.
- Retamales J.B. and J. Hancock F. 2012. Blueberries and cranberries *In: Blueberries*. Hancock J., F., P. Lyrene, C. E. Finn, N. Vorsa, G. A. Lobos (Ed.). CAB International, Wallingford, UK. pp:51-73.
- Roden J. S., and M. C. Ball. 1996. The effect of elevated CO₂ on growth and photosynthesis of two eucalyptus species exposed to high temperatures and water deficits. *Plant Physiology* 111:909-919.
- SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. México). 2018. Producción de arándano en México [Online]. 10p. agosto, 2019.
- Salvo S., Muñoz, C., Ávila, J., Bustos, J., Cariaga, E., Silva, C. and Vivallo, G. 2011. Sensitivity in the estimation of parameters fitted by simple linear regression models in the ratio of blueberry buds to fruits in Chile using percentage counting. *Scientia Horticulturae*, 130: 404-409.

- SAS. 2012. SAS versión 9,4. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.
- Scherm H., D.S. Nesmith, D.L. Horton, and G. Krewer. 2001. A survey of horticultural and pest management practices of the Georgia blueberry industry. *Small Fruits Rev.* 1:17-28.
- Serna-Rodríguez J., Castro-Brindis, Rogelio Colinas-León; María Teresa and Rodríguez-Pérez, J. S.-C. J. E. 2011. Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17:9-13.
- Singleton V. L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventós. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 152–178.
- Souza A. L. K., R. R. Pereira, S. S. Camargo, D. L. O. Fisher, M. W. Schuch, M. S. Pasa, and J. D. SchmitzJ. 2014. Produção e qualidade de frutos de mirtilheiros sob diferentes intensidades de poda. *Cienc. Rural* 44: 2157-2163.
- Spann T. M., Williamson, J. G. and Darnell, R. L. 2004. Photoperiod and temperature effects on growth and carbohydrate storage in southern highbush blueberry interspecific hybrid. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129: 294-298.
- Spiers M. J., and S. Stringer J. 2002. ‘Biloxi’ Southern Highbush Blueberry. *Proc. 7th IS on Vaccinium*. Ed. R. F. Hepp. *Acta Horticultura*. 574.
- Strik B., G. Buller, and E. Hellman. 2003. Pruning severity affects yield, berry weight, and hand harvest efficiency of highbush blueberry. *HortScience* 38: 196-199.
- Taiz L. and Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. 424 – 519 p.
- Tarantino A., G. Lops, G. Disciglio and G. Lopriore. 2018. Effects of plant biostimulants on fruit set, growth, yield and fruit quality attributes of ‘Orange rubis®’ apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivar in two consecutive years. *Scientia Horticulturae* 239:26-34.
- Theron K. I., H. J. Gerber, and W. J. Steyn. 2011. Effect of hydrogen cyanamide, mineral oil and thidiazuron in combination with tip pruning on bud break, shoot growth and yield in ‘Bourjasotte Noire’, ‘Col de Damme Noire’ and ‘Noire de Caromb’ figs. *Scientia Horticulturae* 128: 239–248
- Trujillo E. E., Mendoza, C., González, F. C., Cereceres, O., Delgado, A. and Carrillo, A. 2009. Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Fitotecnia Mexicana* 32:303-309.
- Wang S.Y., G. L. Steffens, and M. Faust. 1986. Breaking bud dormancy in apple with a plant bioregulator, thidiazurón *Biochemistry* 25: 311-317
- Williamson J. G. and Lyrene, P. M. 2004. Reproductive Growth and Development of Blueberry. *Universidad de Florida, Horticultural Sciences HS976:1–7.*

- Williamson J. G., F. S. Davies, and P. M. Lyrene, 2004. Pruning Blueberry. *Plants in Florida* 1:1–5.
- Yang C., J. Wang, C. L. Chen, P. Sun, S. W. Dong, Q. Liu, Q. Liang, and T. W. Liao. 2019. Agronomic traits and quality properties analysis of different blueberry cultivars. *Journal of Southern Agriculture* 50: 788-794.
- Yang G, J. Yue, X. Gong, B. Qian, H. Wang, Y. Deng, and Y. Zhao. 2014. Blueberry leaf extracts incorporated chitosan coatings for preserving postharvest quality of fresh blueberries. *Postharvest Biology and Technology* 92:46-53.
- Yaronskaya E., Vershilovskaya, I., Poers, Y., Alawady, A. E., Averina, N. and Grimm, B. 2006. Cytokinin effects on tetrapyrrole biosynthesis and photosynthetic activity in barley seedlings. *Planta* 224:700-9.
- Yemis O., E. Bakkalbas and N. Artik. 2012. Changes in pigment profile and surface colour of fig (*Ficus carica* L.) during drying. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 1710-1719.
- Zang Y. X., Chun, I. J., Zhang, L. L., Hong, S. B., Zheng, W. W. and Xu, K. 2016. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. *Scientia Horticulturae* 200:13–18.
- Zayed, E. M., O. H. Elbar. 2015. Morphogenesis of immature female inflorescences of date palm in vitro. *Annals of Agricultural Sciences, Poznań* 1: 113-120.
- Zhang X., Y. Wang, J. Wang, and X. Wang. 2018. Effects of fruit thinning on blueberry fruit maturation and quality. *In: 3rd International Forum on Energy, Environment Science and Materials (IFEESM 2017)*. Atlantis Press 120.

CONCLUSIONES GENERALES

La aspersión de thidiazurón a concentración de 100 mg L⁻¹ combinado con ácido giberélico (25 mg L⁻¹) promueven mayor brotación de yemas, pero ocasiona fitotoxicidad, referida como: detención del crecimiento, entrenudos cortos, necrosis de yemas laterales y brotes arrosados, en consecuencia, resulta en menor emisión de flores y menor producción de fruto por planta. A diferencia, la aplicación de TDZ en concentración de 50 mg L⁻¹ combinado con AG₃ (25 mg L⁻¹), GLU (150 mg L⁻¹) y TRP (150 mg L⁻¹) en ramas laterales induce mayor brotación de yemas, mayor número de flores e inflorescencias y promueve un incremento en el rendimiento,

con relación con el testigo, además no ocasiona desarrollo anormal de la planta. Por otro lado, la aplicación combinada de TDZ, AG₃ y GLU prolonga el periodo de antesis a cosecha en 100 días.

El efecto de podas de despunte leves (10 %) y severas (20 %) efectuadas en las dos fechas de estudio: 16 de abril de 2018 y el 27 de febrero de 2019, disminuyen el número de yemas brotadas, el número de flores, inflorescencias, además, atrasan la floración y como consecuencia se obtiene menor rendimiento. Por tanto, la poda ejercida se encuentra en temporada tardía y no promueve brotes anticipados y disminuye el rendimiento, al quitar hojas en fotosíntesis activa en arándano 'Biloxi'.

Los tratamientos a base de aspersiones de biorreguladores y poda no afectan de manera significativa los parámetros de calidad organoléptica del fruto.

ANEXOS

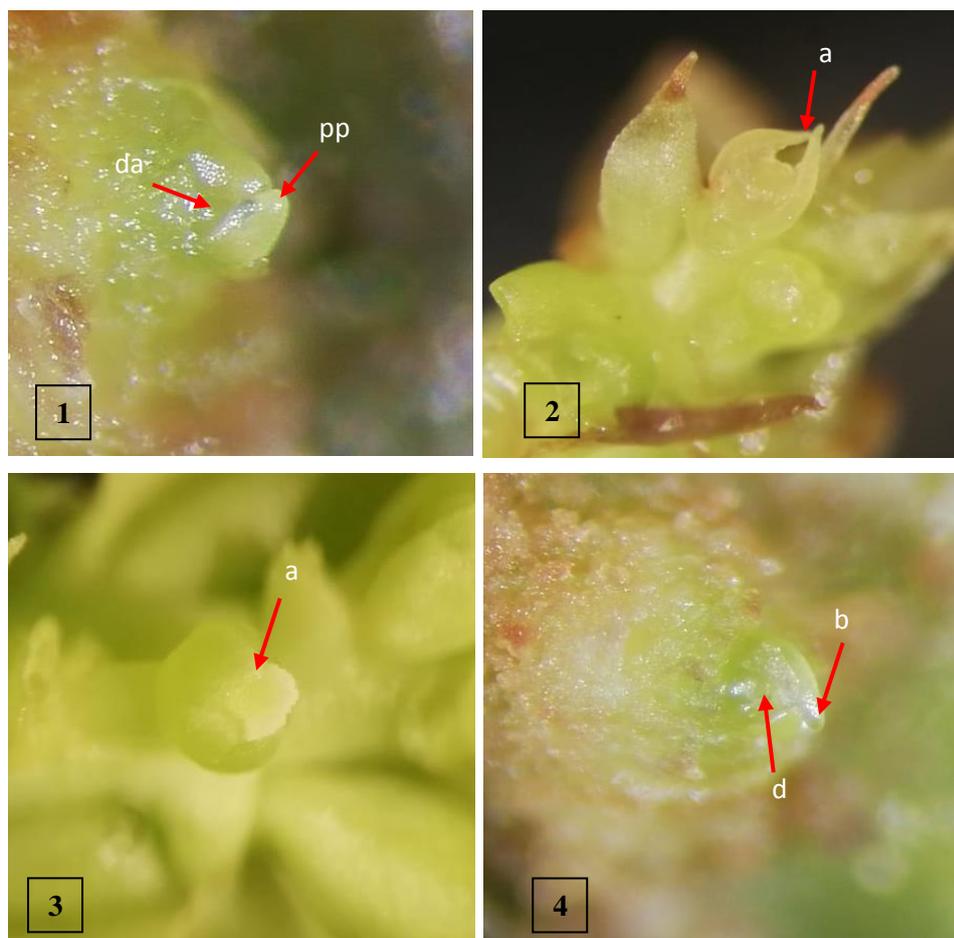


Figura A1. Presencia y ausencia de diferenciación floral en yemas de arándano cv. Biloxi, disectadas el 19 de febrero de 2019 en condiciones de invernadero. 1 y 2: yemas con algún grado de diferenciación floral, 3) desarrollo de la flor, 4) yema vegetativa; a= ápice acuminado del primordio del hipsófilo; b= ápice redondeado del primordio del nomófilo; d= domo cóncavo del meristemo apical vegetativo; da= domo aplanado del meristemo apical reproductivo; pp= primordio de pétalo en la flor apical.

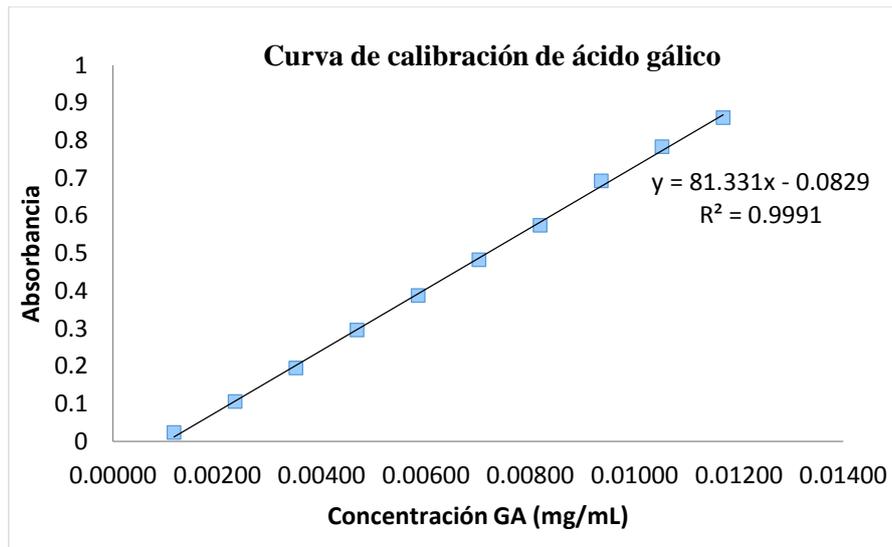


Figura A2. Curva de calibración para fenoles totales.

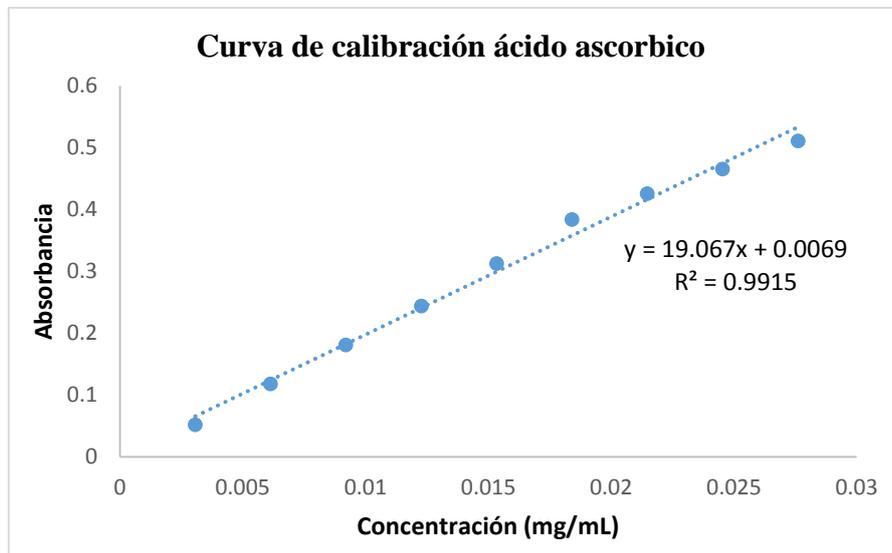


Figura A3: Curva de calibración para vitamina C.

Cuadro A1. Resultados: Efecto de la aspersión de biorreguladores thidiazurón, ácido giberélico, ácido glutámico y triptófano, combinado con poda (5, 10 y 0%) en la calidad de fruto arándano ‘Biloxi’ en condiciones de invernadero.

Fuente de variación	Muestra compuesta				
	Antocianinas mg/100 g fruto fresco	Fenoles Totales (mg EAG / 100 g peso fresco)	Vitamina C (mg / 100 g peso fresco)	Acidez Titulable (% Ácido cítrico)	CSST (°Brix)
Poda 5%	1	367a	381a	39.0a	13.8a
	2	300a	389a	39.9a	13.0ab
	3	238a	380a	39.4a	13.06ab
	4	297a	441a	39.9a	13.3ab
	5	336a	387a	39.9a	13.2ab
Poda 10%	1	270a	401a	40.3a	12.2ab
	2	203a	392a	41.2a	14.08a
	3	362a	431a	41.9a	14.06a
	4	307a	404a	44.3a	8.6b
	5	305a	458a	38.1a	13.2ab
Poda 0% (Testigo sin poda)	1	296a	427a	43.7a	12.8ab
	2	313a	460a	42.2a	13.8a
	3	276a	404a	40.2a	12.9ab
	4	307a	454a	41.4a	13.1ab
	5	295a	370a	41.9a	13.8a
CV (%)	23	13	12	28	8.6