



UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



TESIS

EFFECTO DEL 24-EPIBRASINÓLIDO EN LA PROPAGACIÓN, CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL FRUTO DEL ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.), CULTIVADO EN DIFERENTES CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

MC JUDITH LIBERTAD CHÁVEZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RAÚL CÁRDENAS NAVARRO

REVISORES

DR. LUIS LÓPEZ PÉREZ

DRA. MARTHA ELENA PEDRAZA SANTOS

DR. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES

DR. ANGEL REBOLLAR ALVITER

Morelia Michoacán, septiembre de 2025

Efecto del 24-epibrasinólido en la propagación, crecimiento, producción y calidad del fruto del arándano (*Vaccinium corymbosum* L), cultivado en diferentes condiciones de disponibilidad de nitrógeno

Esta tesis fue realizada bajo la supervisión del Dr. Raúl Cárdenas Navarro investigador del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y es presentada para su revisión por los miembros de la mesa del comité sinodal.

Judith Libertad Chávez González

Dr. Raúl Cárdenas Navarro

Director de tesis

Dr. Luis López Pérez

Revisor

Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores

Revisor

Dra. Martha Elena Pedraza Santos

Revisora

Dr. Ángel Rebollar Alviter

Revisor

“El hecho de que todas las moléculas de todos los seres vivos
tengan exactamente el mismo tipo de giro de electrones, es
probablemente la demostración más profunda de la uniformidad de los
orígenes de la vida”

Richard Feynman

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
RESUMEN GENERAL Y ESQUEMA DE TESIS	ii
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN GENERAL Y ESTRATEGIA METODOLÓGICA	8
1.INTRODUCCIÓN GENERAL	9
Generalidades del arándano	9
Contexto en México de la producción y comercialización del arándano	10
Descripción de la planta	12
Tipo de suelo	13
Necesidades hídricas.....	13
Características del fruto y cosecha	14
Fertilización nitrogenada.....	15
Fitohormonas como coadyuvantes nutricionales.....	18
Referencias: capítulo 6 referencias bibliográficas	18
2.HIPÓTESIS	19
3.OBJETIVOS.....	20
3.1.1 Objetivos particulares.....	20
4.ESTRATEGIA METODOLOGICA.....	21
FASE 1.....	21
Experimento 1: 24-Epibrasinólido (24-EBL) como inductor de enraizamiento de esquejes de arándano azul en diferentes sustratos	23
FASE 2	26
Experimento 1: Efecto de la aplicación foliar de 24- EBL sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y la calidad del arándano cultivado en diferentes concentraciones de DISPONIBILIDAD DE nitrógeno.....	26
FASE 3.....	28
Diseño experimental 2: Efecto de la aplicación foliar de 24- Epibrasinolide sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento, la calidad del arándano cultivado en diferentes concentraciones de DISPONIBILIDAD DE nitrógeno.	28
RESULTADOS.....	35
CAPITULO 1	36
Unlocking the Green Potential: Brassinosteroids in Horticultural Crops (REVIEW ARTICLE)	36
Abstract.....	37
Introduction	37

BR Signaling Pathway	39
Cell Elongation and Expansion.....	40
Lateral Root Development.....	40
Cross-Talk with Other Hormones	40
The Impact of Brassinosteroids on Root Architecture	41
Molecular Mechanisms Underlying Brassinosteroid-Mediated Root Growth	41
Brassinosteroids and Shoot Growth	42
Brassinosteroids and Flowering.....	42
Brassinosteroids and Fruit Development	42
Brassinosteroids and Fruit Set	42
Brassinosteroids and Fruit Size.....	43
Brassinosteroids and Nutrient Metabolism	45
Brassinosteroids and Stress Tolerance	45
Conclusion.....	45
References: Capitulo 6 referencias bibliograficas	46
CAPÍTULO 2	48
24-Epibrasinólido (24-EBL) como inductor de enraizamiento de esquejes de arándano azul en diferentes sustratos.....	48
https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.3115	48
RESUMEN	49
INTRODUCCIÓN	49
MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
CONCLUSIONES	63
REFERENCIAS CITADAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63
CAPÍTULO 3	64
Aspersión de 24-Epibrasinólido en plantas de arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) cultivadas con baja y alta disponibilidad de Nitrógeno	64
RESUMEN	65
INTRODUCCIÓN	66
MATERIALES Y MÉTODOS.....	68
RESULTADOS.....	75
DISCUSION	83
CONCLUSION	88
REFERENCIAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88
Capítulo 4.....	89
Efecto del 24-EPRIBRASINOLIDE sobre el rendimiento, calidad y actividad antioxidante en frutos de arándano cultivado en dos concentraciones de Nitrógeno	89

RESUMEN	90
INTRODUCCIÓN	91
MATERIALES Y MÉTODOS.....	93
RESULTADOS.....	100
DISCUSIÓN	102
CONCLUSIÓN	107
REFERENCIAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	107
Capítulo 5:.....	108
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL.....	108
Capítulo 6:.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
Anexos	130
Artículo de investigación publicado	131
Artículo de divulgación publicado.....	132

AGRADECIMIENTOS

Es innegable el apoyo financiero por parte de CONACyT, la consolidación de esta tesis y los trabajos derivados de esta investigación solo fueron posibles por el financiamiento y los recursos otorgados por este organismo para este proyecto.

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, gracias por facilitar las instalaciones y los equipos necesarios para desarrollar parte experimental de esta investigación.

A la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, mi casa académica desde que decidí hacer un posgrado.

Al director de tesis, Dr. Raúl Cárdenas Navarro, por sus sinceros consejos y confianza depositada en mí.

Al Dr. Luis López Pérez, por su dedicación, respaldo y opiniones al realizar este trabajo, dedico un reconocimiento especial.

A la Dra. Martha Elena Pedraza Santos, por su compromiso, respaldo y aportes invaluable en la ejecución de este trabajo, le expreso mi más sincero reconocimiento.

Al Dr. Ángel Rebollar Alviter por su guía y perspectivas enriquecedoras, las cuales fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Al Dr. Héctor E. Martínez Flores, quien me ha brindado su apoyo y abrió las puertas del laboratorio de Investigación en Desarrollo de Alimentos (LIDA) para realizar varios experimentos de esta tesis, su respaldo siempre ha sido un punto angular en mi desarrollo como científica.

A mi familia, mis padres Guillermo Chavez Esquivel, Ma. Del Socorro González Jarillo y a mi hermana Nancy, quienes me han impulsado y apoyado incondicionalmente para lograr los proyectos que he realizado a lo largo de mi vida.

Por último, la presente investigación está dedicada a mi hijo, Paulo, quien me motivo para realizar mis estudios de doctorado. Hijo mío, te dedico lo que escribí aquí, lo que escriba mañana y lo que escriba siempre.

A todos y todas, mi agradecimiento infinito.

Resumen general y esquema de Tesis

Los brasinoesteroides o brasinólidos (Brs) son reguladores del crecimiento de las plantas de origen natural, que presentan similitudes estructurales con las hormonas esteroides animales. Estudios recientes han indicado que además de tener un papel esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas, estas moléculas también ejercen efectos sobre los procesos fisiológicos antiestrés en las plantas, activando rutas del metabolismo secundario, principalmente la síntesis de compuestos fenólicos. Por otro lado, se ha generado evidencia científica sobre el efecto del nitrógeno (N) en la producción y la calidad de los frutos, así como la existencia de una relación inversa entre la concentración de N y la acumulación de compuestos fenólicos en hojas y frutos en algunas especies de plantas, como el arándano azul, que se caracteriza por ser una planta con una composición única de compuestos fitoquímicos tanto en hojas como en frutos. Si bien existen reportes sobre el cultivo de arándano azul en sistemas hidropónicos, hasta momento no se ha evaluado el efecto de la fertilización nitrogenada en combinación con la aplicación foliar de 24-Epibrasinolido sobre el rendimiento, la calidad del fruto, la síntesis de compuestos fenólicos y sus derivados con actividad antioxidante en hojas y frutos, en plantas de arándano azul cultivadas hidroponia en invernadero. Con fundamento en el análisis bibliográfico realizado, suponemos que los factores antes mencionados pueden promover una alta concentración de algunos compuestos fenólicos en hojas y frutos, sin afectar negativamente la producción y la calidad al momento de la cosecha.

Considerando lo anterior en esta tesis se presentan los resultados de las investigaciones realizadas, con el siguiente esquema:

Inicialmente se muestra la introducción general sobre el tema de estudio, la hipótesis, los objetivos y la estrategia experimental.

Se presentan los resultados en capítulos:

En el capítulo 1, se indica una revisión de la literatura en torno a una visión general de los efectos que tienen los Brasinoesteroides (Brs), incluido el 24-Epibrasinólido, en diferentes cultivos. Se describen algunos procesos bioquímicos celulares que ocurren en hojas, raíces y frutos, que explican de modo específico porqué se presentan algunos efectos positivos con la aplicación de este tipo de fitohormonas.

En el capítulo 2, se aborda los efectos del 24-Epibrasinólido (24-EBL) como inductor de enraizamiento de esquejes de arándano, en diferentes sustratos. Se concluye que el 24-EBL induce la formación de raíces en esquejes de plantas de arándano en sustrato de mezcla de arena de río y tezontle.

En el Capítulo 3, se presentan los resultados del experimento diseñado para evaluar el efecto de los factores: alta (6.0 mM) y baja (0.6 mM) disponibilidad de N y la aspersión de 24-EBL a cuatro concentraciones (0 μ M, 10 μ M, 15 μ M, 20 μ M) sobre las plantas de arándano cultivadas en sistema hidropónico, las variables estudiadas fueron: Crecimiento y desarrollo vegetativo, intercambio de gases, contenido de N total en los diferentes órganos de la planta, acumulación de compuestos fenólicos, clorofila y actividad antioxidante en hojas. Se concluye que el desarrollo y crecimiento de la planta se ve afectada por la baja disponibilidad de N y que la presencia del 24-EBL tiene un efecto sobre el contenido de clorofila, en el intercambio de gases, la acumulación de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de estos compuestos encontrados en las hojas de la planta.

En el capítulo 4, se muestran los resultados del experimento diseñado para evaluar el efecto de los factores: alta (6.0mM) y baja (0.6 mM) disponibilidad de N y la aspersión de 24-EBL a cuatro concentraciones (0 μ M, 10 μ M, 15 μ M, 20 μ M) sobre el rendimiento, la calidad del fruto, la acumulación de compuestos con actividad antioxidante en frutos de arándano cultivados en un sistema hidropónico en invernadero. Los resultados indican que en las plantas tratadas con 24-EBL los frutos aumentan el calibre, la acumulación de azúcares y los compuestos fenólicos y antocianinas. Por otro lado, los frutos de plantas cultivadas con alta disponibilidad de N (6.0 mM) presentan menor firmeza y mayor acumulación de azúcares, sin embargo, estos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables de un fruto de calidad comercial.

En el capítulo 5, se presenta una discusión general y las conclusiones. En este sentido se concluye que los factores estudiados la disponibilidad de N y la concentración de 24-EBL, tienen efectos significativos en distintas variables evaluadas, destaca la acumulación de compuestos fenólicos con alta actividad antioxidante en hojas, cuando se fertilizó con 0.6 mM de N y se aplicó foliarmente la concentración de 0.20 μ M de 24-EBL, sin embargo, las plantas presentaron área foliar reducida, menor producción de biomasa, afectaciones en la tasa fotosintética y rendimiento disminuido. También cabe destacar el efecto positivo de la alta disponibilidad de N (6.0 mM) y la aplicación de 24-EBL a 0.20 μ M sobre el desarrollo acelerado, crecimiento vigoroso, aumento en el número de brotes florales y el mayor

rendimiento de fruto por planta (2 kg/planta). Efectos similares se reportaron previamente en uvas de mesa (Ghorbani, ~~P~~, et al; 2017) y fresas (Ali- et al; 2022) sobre la acumulación de los compuestos fenólicos y el aumento en la actividad antioxidante, cuando fueron tratadas con 24-EBL, pero en estos estudios no se aborda la relación con la fertilización nitrogenada.

En el capítulo 6 se presentan las referencias bibliográficas consultadas y citadas de cada capítulo de este documento

Finalmente se presentan los anexos, que influyen la portada del artículo científico y el artículo de divulgación científica ambos publicados.

Palabras Clave: Brasinoesteroide, nitrógeno, rendimiento, crecimiento, blueberry

Brassinosteroids or brassinolides (Brs) are natural plant growth regulators that exhibit structural similarities to animal steroid hormones. Recent studies have indicated that, in addition to playing an essential role in plant growth and development, these molecules also influence anti-stress physiological processes in plants by activating secondary metabolism pathways, primarily the synthesis of phenolic compounds.

On the other hand, scientific evidence has been generated regarding the effect of nitrogen (N) on fruit production and quality, as well as the existence of an inverse relationship between N concentration and the accumulation of phenolic compounds in leaves and fruits in certain plant species, such as the blueberry, which is characterized by its unique composition of phytochemical compounds in both leaves and fruits. While reports exist on the cultivation of blueberries in hydroponic systems, the effect of nitrogen fertilization in combination with foliar application of 24-Epibrassinolide on yield, fruit quality, the synthesis of phenolic compounds, and their antioxidant activity derivatives in leaves and fruits of hydroponically grown blueberry plants in greenhouses has not yet been evaluated.

Based on the literature review conducted, we hypothesize that the aforementioned factors may promote a high concentration of certain phenolic compounds in leaves and fruits without negatively affecting production and quality at harvest time.

Thesis Structure:

This thesis presents the results of the research conducted, following the structure outlined below:

Presents a general introduction to the study topic, the hypothesis, objectives, and experimental strategy.

Results:

Chapter 1 provides a literature review offering a general perspective on the effects of brassinosteroids (Brs), including 24-Epibrassinolide, on different crops. It describes certain biochemical and cellular processes occurring in leaves, roots, and fruits, which specifically explain why some positive effects arise with the application of these phytohormones.

Chapter 2 addresses the effects of 24-Epibrassinolide (24-EBL) as a rooting inducer in blueberry cuttings grown in different substrates. It concludes that 24-EBL induces root formation in blueberry plant cuttings when cultivated in a substrate composed of a mixture of river sand and tezontle (volcanic rock).

Chapter 3 presents the results of an experiment designed to evaluate the effect of the following factors: high (6.0 mM) and low (0.6 mM) N availability and foliar spraying of 24-EBL at four concentrations (0 μ M, 10 μ M, 15 μ M, 20 μ M) on blueberry plants cultivated in a hydroponic system. The variables studied included vegetative growth and development, gas exchange, total N content in different plant organs, accumulation of phenolic compounds, chlorophyll levels, and antioxidant activity in leaves. The study concludes that plant development and growth are affected by low N availability and that 24-EBL influences chlorophyll content, gas exchange, the accumulation of phenolic compounds, and the antioxidant activity of these compounds found in the plant's leaves.

Chapter 4 presents the results of an experiment designed to assess the effect of the following factors: high (6.0 mM) and low (0.6 mM) N availability and foliar spraying of 24-EBL at four concentrations (0 μ M, 10 μ M, 15 μ M, 20 μ M) on fruit yield, fruit quality, and the accumulation of antioxidant-active compounds in blueberries cultivated in a hydroponic

greenhouse system. The results indicate that, in plants treated with 24-EBL, the fruits exhibited an increase in size, sugar accumulation, and phenolic and anthocyanin compound content. Additionally, fruits from plants cultivated with high N availability (6.0 mM) showed reduced firmness and higher sugar accumulation. However, these values remained within the acceptable range for commercially high-quality fruit.

Chapter 5 General discussion and conclusions. The study concludes that the examined factors—N availability and 24-EBL concentration—significantly affect various evaluated variables. Notably, a high accumulation of phenolic compounds with strong antioxidant activity was observed in leaves when fertilization with 0.6 mM N was combined with a foliar application of 0.20 μ M 24-EBL. However, these plants exhibited reduced leaf area, lower biomass production, alterations in photosynthetic rate, and decreased yield. Additionally, the positive effect of high N availability (6.0 mM) and 0.20 μ M 24-EBL application was highlighted in promoting accelerated development, vigorous growth, increased floral bud production, and higher fruit yield per plant (2 kg/plant). Similar effects have been previously reported in table grapes (Ghorbani, P., et al.; 2017) and strawberries (Ali, M. M., et al.; 2022) regarding the accumulation of phenolic compounds and increased antioxidant activity when treated with 24-EBL. However, these studies did not address the relationship with nitrogen fertilization.

Chapter 6 presents the bibliographic references consulted and cited for each chapter of this document.

Finally, the annexes presented, which influence the cover page of the scientific article and the popular science article, are both published.

INTRODUCCIÓN GENERAL Y ESTRATEGIA METODOLÓGICA

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

GENERALIDADES DEL ARÁNDANO

Los arándanos son arbustos que constituyen un grupo de especies del género *Vaccinium* de la familia de las Ericáceas, generalmente nativas del hemisferio norte. Actualmente se tienen disponibles diferentes variedades de este frutal, adaptadas a distintas condiciones ambientales (Morvan et al., 2020). En México la variedad más cultivada es Biloxi, lograda por cruzamiento de *V. corymbosum*, *V. elliotii* y *V. darrowi* (Beaudry, n.d.), está adaptada a climas templados, soporta temperaturas elevadas y requerimientos de frío bajos.

El arándano tiene un crecimiento vigoroso y productivo, sus frutos son de tamaño medio, precoces en su maduración, con buen color, firmeza y sabor. Los frutos de arándano contienen una serie de fenoles, entre los que se incluyen las antocianinas, estas ocupan cerca del 60 % del contenido total de fenoles y son responsables de proporcionar los característicos colores rojo y azul a los frutos (Fang et al., 2020).

El arándano ha sido reconocido como uno de los diez productos más sanos para el consumo humano junto con la soya, atún, tomate, zanahoria, aguacate, espinaca, kiwi, ajo y brócoli (Mikulic-Petkovsek et al., 2012). Se le ha denominado como “Super Fruta” tanto por su alto contenido de antioxidantes (antocianina, vitamina C, complejo B, vitamina E, vitamina A), como también de minerales (cobre, selenio, zinc, hierro) y fibra (Clark & Zheng, 2020). Se le atribuyen propiedades benéficas como: mejoramiento de la función cerebral y memoria, neutralización de radicales libres que producen enfermedades como cáncer y envejecimiento celular, reducción de grasas saturadas y menor riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares, prevención/retardo de enfermedades a la vista, mejoramiento del tracto digestivo y urinario, prevención de osteoporosis, entre otros beneficios (Messiga et al., 2018).

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L) ha sido ampliamente estudiado debido a su gran cantidad y variedad de compuestos fenólicos (Viencz et al., 2021). El perfil químico de la fruta y las hojas de los arándanos está compuesto principalmente por ácidos fenólicos, flavonoles y antocianinas (Davis & Strik, 2022; Messiga et al., 2018). La estructura química de los compuestos fenólicos más importantes del arándano tiene un poderoso efecto antioxidante, que atenúa el daño oxidativo en los tejidos vegetales (Kováčik & Bačkor,

2007). A pesar de la importancia del arándano como cultivo frutícola, existen escasos estudios fisiológicos y bioquímicos en esta especie, en relación con la nutrición con N (Ertani et al., 2016) y la aspersión de alguna fitohormona como el 24-Epibrasinólido y del como estos factores intervienen en la síntesis y acumulación de compuestos fenólicos en hojas y frutos (Sun et al., 2023).

CONTEXTO EN MÉXICO DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DEL ARÁNDANO

El arándano (*V. corymbosum* L) fue introducido en México en la década de los 70's y desde entonces su producción ha crecido exponencialmente. Este importante cultivo ha posicionado a nuestro país como un importante exportador de esta fruta en el mercado mundial teniendo como primordial cliente a EUA. Esta situación coincide con una demanda creciente en todo el mundo por alimentos saludables y ricos en antioxidantes (Fosat, 2022).

Los principales estados productores en México son Jalisco y Michoacán, en los últimos 10 años la producción de este fruto ha aumentado aceleradamente, en 2021 creció con una tasa media anual del 28.0% respecto al 2020 (SIAP, 2022). En 2021 se produjeron 66 mil toneladas y se cosecharon en promedio 11.4 toneladas por hectárea dando un rendimiento promedio por planta de 2.56 kg, como se observa en la figura 1.

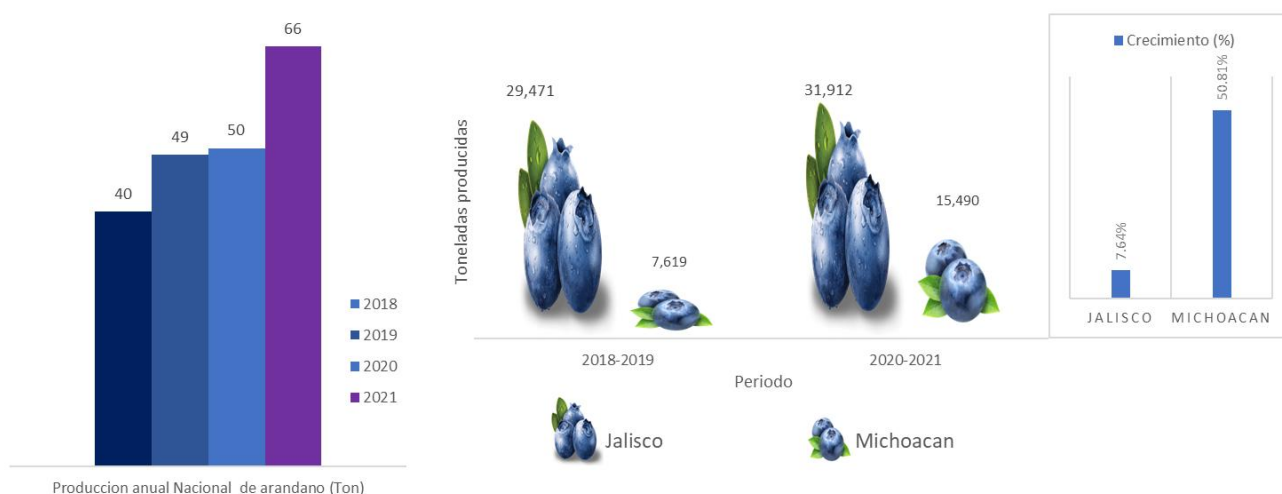


Figura 1 Producción nacional (miles de toneladas) y comparativo de crecimiento entre Jalisco y Michoacán. Elaboración propia, basada en SIAP, 2022.

Aunque Jalisco generó la mayor producción de arándano en los últimos periodos, Michoacán registró las mejores cotizaciones del fruto y un crecimiento en la producción del 50.8% respecto a periodos anteriores. Este estado es el mayor productor de berries a nivel nacional y está ganando terreno y protagonismo en la producción especializada de arándano azul, cuyo valor comercial en el 2021 en la región se estimó en promedio en \$82 mil 521 pesos la tonelada comercializada, lo que generó mil 278 millones de pesos.

El arándano (*V. corymbosum* L), es un frutal que se desarrolla de forma nativa en el sotobosque, donde se han clasificado dos tipos:

- Bajo o “lowbush” (*Vaccinium angustifolium* Alton), arándano ojo de conejo o “rabbit eye” (*Vaccinium ashei* Reade). Alto o “highbush” (*Vaccinium corymbosum* L). Los cultivares de arándano alto o “highbush” están separados en “northern” y “southern” dependiendo los requerimientos de horas frío y resistencia al invierno (Beaudry, et al., 2020)
- Northern Highbush o Arándanos Altos del Norte: Han sido mejorados en busca de fruta de mayor calidad y mayor resistencia a bajas temperaturas. Por ejemplo: “Berkeley”, “Bluecrop”, “Bluetta”, “Brigitta”, “Duke”, “Eliot” y “Jersey”.
- Southern Highbush o Arándanos Altos del Sur: Han sido mejorados para adecuarse mejor al cultivo siempre verde y climas más tropicales. Por ejemplo: “Biloxi”, “Emerald”, “Jewel”, “Misty” y “O’ Neal”.

El arándano se considera con la siguiente clasificación taxonómica:



Figura 2 Clasificación Taxonómica del Arándano (*Vaccinium Corymbosum*) Retamales & Hancock (2012)

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La planta ha sido descrita como un arbusto vigoroso que desarrolla un sistema radicular reducido, fibroso y superficial. No cuenta con pelos radiculares, por lo tanto, las raíces jóvenes son las encargadas de la absorción de nutrientes (Bian et al., 2014). Las hojas son simples, enteras o aserradas y ubicadas alternamente a lo largo del tallo que varían de 1 a 8 cm de largo, son de forma lanceolada u ovalada y de color verde claro (Morvan et al., 2020). Las flores se producen en inflorescencias (racimos), generalmente axiales, las que se diferencian en las yemas terminales de las ramillas cuando se detiene el crecimiento vegetativo. La flor tiene de ocho a diez estambres que se insertan en la base de la corola.

El fruto es botánicamente una baya, de color azul oscuro, morado o casi negro, presenta una cicatriz estilar que se busca sea pequeña (Rodríguez-Saona et al., 2019), su tamaño es variable debido a condiciones climáticas, variedades y manejo agronómico que se le da al cultivo. Los tipos de brotes que emergen del arándano poseen yemas vegetativas que se forman primero. Mientras que los brotes axiales son vigorosos y emergen desde la corona o de yemas mayores de un año y los anticipados se forman en yemas brotadas en las plantas de al menos 12 meses de edad (Bañados et al., 2012).

El crecimiento en la planta del arándano está dividido en dos partes, vegetativo y reproductivo. Se han especificado cuatro etapas de crecimiento vegetativo, donde el primero es la yema vegetativa, el segundo es el brote caracterizado por entrenudos cortos, tercero el alargamiento de los entrenudos y la expansión de hojas y cuarto una rama nueva conformada por las hojas totalmente extendidas y entrenudos largos (Tennakoon et al., 2018). Las etapas de crecimiento reproductivo son seis: primera se tiene una yema hinchada que dará origen a las flores y posteriormente la yema se abrirá dando inicio a la segunda etapa la floración, tercera es la aparición de botones florales con la corola cerrada, cuarta es la flor en plena floración con la corola abierta, quinta caída de la corola y cuaje del fruto y sexto fruto verde (Ochmian et al., 2018).

TIPO DE SUELO

El cultivo del arándano se caracteriza porque se adapta muy bien a en condiciones de suelos ácidos, con un pH entre 4.5 y 5.5. Esta característica, descubierta por Frederick Coville cerca del año 1910, permitió que el arándano se pueda domesticar (Mirsky, 2011; Rebolledo, 2013). La Conductividad Eléctrica (CE) ideal es bajo los 1.5 dS/m (Cruzat y Mancilla, 2010).

El cultivo requiere de suelos ligeros, de buena aireación con porosidad del 40%, un alto porcentaje de materia orgánica, contenido de carbonato de calcio debajo del dos por ciento y buen drenaje (Cruzat y Mancilla, 2010; Carrera, 2012; Rebolledo, 2013). Cuando en el terreno no se cuenta con suelos que tengan estas características, se opta por un cultivo en hidroponía utilizando macetas o contenedores. Esta es una práctica asociada al uso de buenos sustratos, riego tecnificado y alta densidad de plantas por invernadero. Actualmente en México este tipo de sistemas de producción están ganando popularidad ya que permite optimizar recursos e insumos y se puede tener un complejo productivo altamente rentable y sostenible. La ventaja de producir en sistemas hidropónicos es que existe una gran variedad de medios de crecimiento que son estables e inertes, con tamaños de partículas específicos, estas características que permiten que el sistema radicular se desarrolla en condiciones óptimas de aireación. Este sistema, intensivo y tecnificado, es una opción para lugares con las condiciones climáticas adecuadas, pero con problemas de suelo. Sin embargo, requiere un constante monitoreo de todos los factores que influyen, especialmente la conductividad eléctrica de la solución de riego antes y después de su paso por el sustrato (Benavides, 2013).

NECESIDADES HÍDRICAS

Un abastecimiento adecuado de agua es esencial para el crecimiento óptimo de la planta, ya que tienen un sistema radicular fibroso superficial, por lo que son susceptibles a las sequías; sin embargo, es importante evitar el exceso de riego ya que las raíces pueden presentar necrosis (Strik, 2008). En promedio las plantas jóvenes necesitan cerca de 1 pulgada de agua por semana (Strik, 2008), mientras que el requerimiento hídrico para plantas adultas es de 15 L a 20 L de agua (Meyer y Prinslo, 2003). Los arándanos son muy sensibles a sales solubles, exceso de calcio, boro y cloro. De modo que el agua debe ser tratada adecuadamente antes de poder utilizarla en el riego en los casos que presente

problemas de salinidad, o en los que el agua proceda de la red de distribución y haya sido sometida a procesos químicos (Carrera, 2012).

Buzeta (1997) reporta que el riego en el cultivo debe ser especialmente apropiado en los siguientes momentos: dos semanas luego de la caída de los pétalos, dos semanas previas a la cosecha y tres o dos semanas posteriores a ésta. Al igual que en la mayoría de las especies frutales, el crecimiento de la baya es un periodo fundamental. Riveros (1996) reporta un efecto positivo del riego en la producción de frutos y en la longitud de los brotes.

Ciertas experiencias han demostrado los beneficios de la reducción del pH del sustrato del cultivo, a través de la acidificación del agua suministrada en el riego. Estudios realizados por Sanabria (2016) concluyeron que la acidificación del agua de riego no afecta el desarrollo vegetativo de las plantas de arándano alto del sur; sin embargo, afecta positivamente la calidad del fruto, la productividad, el contenido de sólidos solubles totales y el pH en los frutos de arándano. Según explica Espinoza (2017), para el riego de este cultivo, con tubos y cintas de goteo, se debe acidificar el agua a un pH entre 5.5 y 6, para lo cual es ideal contar con una planta de tratamiento de agua a la medida a base de ácido sulfuroso y nítrico.

CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO Y COSECHA

La recolección o cosecha se realiza de forma selectiva por los índices de madurez del fruto, basados en el color y el tamaño (Fernandez-Salvador et al., 2017). La cosecha debe realizarse cuando la baya adquiera una coloración azul completa (Índice de Cosecha). A pesar de ser un fruto climatérico, se recomienda cosechar cuando la baya llega a este punto, porque las características organolépticas del producto serán superiores (Tuttle & Sc, 2022). No se debe apresurar el momento de cosechar los frutos cuando se tornan azules, ya que desarrollan mejor sabor, se vuelven más dulces y crecen un 20% más si se dejan unos días después de que estén completamente azules (Strik, 2008). La frecuencia de cosecha depende del cultivar, de la ubicación de la plantación y medio de transporte (Davis & Strik, 2022).

Según Strik y colaboradores (2016), la calidad del fruto está definida por una serie de factores como la apariencia de la fruta, un color azul uniforme, presencia de cera en la superficie de la fruta (conocida como *Bloom*), ausencia de defectos como daño mecánico

y pudriciones, forma y tamaño de la baya, fruta con firmeza adecuada, calidad organoléptica determinada por un contenido adecuado de azúcares, ácidos y compuestos volátiles y por último calidad nutritiva.

El contenido total de azúcares de bajo peso molecular, solubles en agua (glucosa, fructosa, manosa, etc.) se debe medir en fruto con color de cosecha y se obtiene en forma directa por reflectometría, se expresa en grados brix (°B) y tiene correlación con la materia seca (Román, 2013). Diferentes autores señalan distintas concentraciones de sólidos solubles para cosechar frutos de arándanos. En este sentido, Kushman y Ballinger (1968) citado por Pino (2007) proponen como criterio de cosecha, niveles superiores a 10° Brix, en tanto que Lobos (1988) indica que frutos de arándano con 11° y 12° Brix reúnen las cualidades deseadas por el consumidor.

El sabor de los arándanos depende, según Janick y Moore (1996) del balance entre el dulzor, acidez y el aroma. Los principales ácidos orgánicos presentes en arándanos son, según estudios realizados por Kushman y Ballinger (1968) citado por Pino (2007), el ácido cítrico, ácido málico, ácido chiquímico y trazas de ácido succínico. Por lo anterior la acidez titulable indica el porcentaje de ácidos orgánicos contenido en el fruto, este parámetro se determina por titulación con una base fuerte de concentración conocida, generalmente NaOH 0.1 N, y se expresa como el % de ácido orgánico predominante (Lizama, 1992). Los frutos de arándano azul son una rica fuente de importantes metabolitos secundarios como antocianinas, flavonoles, flavonoles y compuestos fenólicos ácidos, como los ácidos hidroxicinámicos (Gavrilova et al., 2011; Rodríguez-Mateos et al., 2012; Veberic et al., 2015).

FERTILIZACIÓN NITROGENADA

El éxito en la producción del arándano depende de muchos factores, como son: las propiedades del suelo, el riego, la genética de la planta, el clima, las prácticas culturales, el control de plagas y enfermedades y la aplicación de fertilizantes (Retamales y Hancock, 2012).

El N es un macronutriente esencial para el desarrollo y crecimiento de plantas (Linton et al., 2020). Se absorbe en formas iones amonio y nitrato, es un constituyente del aparato

fotosintético, detonador de la actividad enzimática y síntesis de pigmentos como la clorofila y algunas antocianinas (Fang et al., 2020). El agotamiento de este elemento desencadena consecuencias negativas en procesos como la senescencia, reduce la producción de biomasa provoca el amarillamiento de las hojas, disminuye los brotes y por lo tanto reduce el rendimiento de la planta y (Chen et al., 2019).

La fertilización excesiva de N mejora la producción de biomasa en las plantas, pero la calidad del fruto a menudo se ve afectada negativamente debido a la baja concentración de compuestos antioxidantes (Guo et al., 2021). Hay algunos informes sobre las dosis mínimas de N que actualmente se recomienda aplicar en varios cultivos y su impacto en la producción de compuestos fenólicos (Domínguez-Valdivia et al., 2008; Zhao et al., 2019). Sin embargo, no existen evidencias con relación a una concentración de N en los tejidos de la planta que podrían mantener altos niveles de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Litke et al., 2018; S. Singh et al., 2015).

El N es el principal componente de los programas de fertilización y la principal limitante del crecimiento debido a su escasez en el suelo (Devetter et al., n.d.) y es el nutriente más absorbido por el cultivo. Como el arándano es una especie que se origina en suelos ácidos donde hay muy baja presencia de nitrato, predomina la absorción y utilización de amonio como forma de N en la nutrición del cultivo (Linton et al., 2020). Además, el N absorbido bajo la forma de NO_3^- no puede ser utilizado de manera directa por la planta, por lo que es necesaria su reducción a la forma amónica mediante dos enzimas: nitrato reductasa y nitrito reductasa, que le permite entrar en el sistema metabólico, mientras que el amonio es absorbido y asimilado directamente (Blaya y García, 2003).

El estrés por deficiencia del N disminuye la actividad enzimática y la concentración de clorofila, lo que conduce a un efecto perjudicial en el aparato fotosintético (Cao et al., 2018). Además, una disminución de la fotosíntesis puede inducir una sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ROS) acompañada de una elevada peroxidación lipídica (Ouyang et al., 2018). Estos hechos han sido reconocidos como los principales contribuyentes al retraso en el crecimiento de las plantas (Ouyang et al., 2018). Las plantas activan mecanismos de defensa, induciendo la activación de complejos enzimáticos antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD,) como primera línea de defensa para contrarrestar este estrés de N (Ouyang et al., 2018). Además, los compuestos no enzimáticos mejoran su concentración para evitar este daño (B. Singh, 2018).

Asimismo, la producción de metabolitos secundarios es un mecanismo estrechamente relacionado con la defensa y la supervivencia. Hay una fuerte relación entre la fertilización con N y la acumulación de compuestos fenólicos en los tejidos vegetales (Naikoo et al., 2019). En este sentido, un aminoácido clave, la fenilalanina (Phe), es un sustrato fundamental para la síntesis de proteínas y varios fenoles, entre ellos ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y taninos (Kováčik & Bačkor, 2007). El primer paso de la ruta de los fenilpropanoides es la desaminación de la Phe por la fenilalanina amoníaco liasa (PAL), que convierte la Phe en ácido cinámico, como precursor de compuestos fenólicos. El amonio liberado de la Phe es reasimilado en el metabolismo del N (Jiménez-Zamora et al., 2016), este evento ocurre principalmente en aquellas plantas que crecen en condiciones limitadas de N (Ahanger et al., 2020; Marty et al., 2019; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2018).

Aunque las familias de compuestos fenólicos se derivan del mismo precursor (Phe) la síntesis de varios tipos de fenoles como respuesta a la fertilización con N es controvertida (Bramley & Ouzman, 2019). De hecho, varios informes han demostrado un aumento de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en plantas cultivadas sin o con N limitado, mientras que en algunos cultivos la adición de N disminuye la concentración de flavonoides (X. Wang et al., 2019) o antocianinas (Alfaro et al., 2018). Los compuestos fenólicos pueden aumentar en situación donde hay deficiencia de N y disminuir los compuestos derivados de los aminoácidos. De hecho, en plantas de manzanilla desprovistas de N la acumulación de compuestos fenólicos se incrementó por agotamiento de N en el medio radical (Kováčik et al., 2007).

La falta de N también puede desencadenar reacciones de daño oxidativo debido a alteraciones en la funcionalidad fotosintética (Huang et al., 2004; Pompelli et al., 2010). Sin embargo, la actividad de enzimas antioxidantes y la síntesis de compuestos fenólicos, tales como antocianinas, puede contrarrestar el estrés oxidativo por ausencia de N (Logan, Diaz et al., 2006)

FITOHORMONAS COMO COADYUVANTES NUTRICIONALES

Las fitohormonas son importantes reguladores del crecimiento de las plantas, desempeñan un papel fundamental en la respuesta al estrés biótico y/o abiótico (Santa et al., 2018). Los brasinoesteroides (BR) son un grupo de hormonas esteroides vegetales que regulan una amplia gama de respuestas fisiológicas. Existen varias moléculas análogas de la Brasinolida, el primer BR descubierto, las más empleadas en la actualidad son el 24-Epibrasinolide y el 28-Homobrasinolida, como fitohormonas que regulan y potencian el crecimiento y desarrollo de las plantas (Babalik et al., 2020). Los Brs actúan de forma independiente y en conjunto con otras fitohormonas para controlar diferentes actividades fisiológicas (Trevisan et al., 2020) que actúan sobre la elongación celular (Ali et al., 2013; (Liu et al., 2016), la fotomorfogénesis (Chaiwanon & Wang, 2015), la diferenciación del xilema (Jaillais & Vert, 2016), la germinación de semilla (Jia et al., 2019), el rendimiento (Hacham et al., 2011). Numerosos estudios también han informado que los BR son capaz de mejorar la capacidad de la planta para hacer frente al estrés hídrico (Hayes, 2019; De Oliveira et al., 2019), alta salinidad del suelo (Furio et al., 2022), ataque de patógenos (He et al., 2017), estrés por frío (Fariduddin et al., 2018.), la presencia de metales pesados (Ur Rahman et al., 2023). Incluso se tiene conocimiento de que intervienen en el metabolismo de las plantas cuando hay deficiencia de nutrientes (Vidya Vardhini, 2017), como el N (Jia et al., 2019), interviniendo en la movilidad de este elemento de órganos maduros a hojas jóvenes, esta interacción tiene una relación directa con el aumento en la acumulación de compuestos fenólicos (Gruszka, 2013).

Sin embargo, hasta el momento no existe suficiente investigación que nos indique cuál es la relación entre la disponibilidad del N y el uso de brasinoesteroides sobre el desarrollo y crecimiento de la planta del arándano, así como en la producción, con frutos de calidad con mayor acumulación de compuestos fenólicos que tienen actividad antioxidante

REFERENCIAS CITADAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2. HIPÓTESIS

La aplicación de 24-EBL en arándanos (*Vaccinium corymbosum* L) variedad Biloxi cultivados en diferentes concentraciones de nitrógeno, incrementa el crecimiento vegetativo y el rendimiento del cultivo e induce la acumulación compuestos fenólicos con actividad antioxidante.

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de **24-EBL** sobre el crecimiento de la planta, en la producción y la calidad del fruto del arándano, cultivado en condiciones hidropónicas con disponibilidad alta y baja de N.

3.1.1 Objetivos particulares

1. Valorar el efecto del 24-EBL sobre el enraizamiento de esquejes de arándano en diferentes sustratos hidropónicos.
2. Estimar el efecto de la aplicación foliar de cuatro concentraciones de 24-EBL y de la disponibilidad de N, en el crecimiento, desarrollo y actividad fotosintética de la planta de arándano.
3. Determinar el efecto de la aplicación foliar de cuatro concentraciones de 24-EBL y de la disponibilidad de N, en la acumulación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de hojas de plantas de arándano.
4. Comprobar el efecto de la aplicación de 24-EBL y de la disponibilidad de N sobre la producción y calidad del fruto del arándano.
5. Determinar el efecto de la aplicación foliar de cuatro concentraciones de 24-EBL y de la disponibilidad de N, en la acumulación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de frutos de arándano.

4. ESTRATEGIA METODOLOGICA

En el siguiente diagrama se muestra la estrategia experimental que se desarrolló en los estudios realizados en el presente trabajo. Posteriormente se desglosa la información de cada fase.

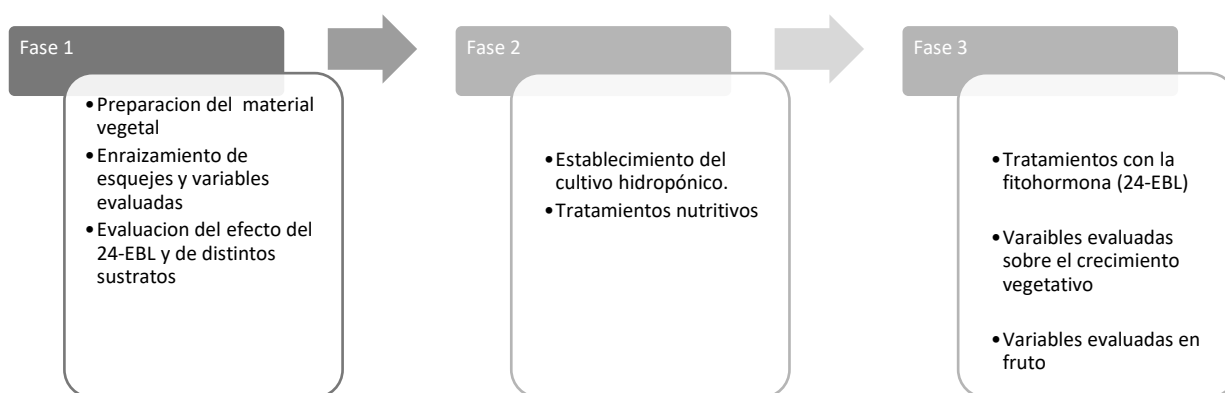


Figura 3 Esquema de la estrategia experimental. Elaboración propia

FASE 1

PREPARACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL.

Se utilizaron plantas de arándano (*V. corymbosum* L) variedad Biloxi de 6 meses de edad, adquiridas en Marpa Invernaderos ©, el 15 de diciembre del 2018. Las plantas se establecieron en un invernadero tipo techumbre cubierto con plástico blanco lechoso de calibre 720, que proporciona un 30% de sombra y permite conservar una temperatura promedio de 27 °C y una humedad relativa promedio del 47%, ubicado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la UMSNH; se aclimataron durante 15 días, regándolas manualmente con 0.2 L de agua desmineralizada, con una frecuencia de 12 horas, el agua tenía una conductividad eléctrica (CE) de 0.055 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH de 6.8.

TRASPLANTE EN SUSTRATO

Las plantas se sacaron del contenedor con el cepellón completo y se trasplantaron en macetas de 20 L, que contenían como medio de crecimiento un sustrato compuesto de una mezcla de área de río y tezontle (roca volcánica basáltica color rojo de partículas menores a 6.0 mm de diámetro) en relación 2:1 (V/V), previamente esta mezcla se desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio al 10%, se enjuagó con agua desionizada hasta que el pH en el agua de enjuague fue cercano a siete. Las plantas continuaron en proceso de aclimatación por 15 días, aplicando un régimen de riego de 0.3 L de agua desmineralizada cada 12 horas. El siguiente paso fue homogenizar el material vegetal, este proceso se muestra en la figura 4.

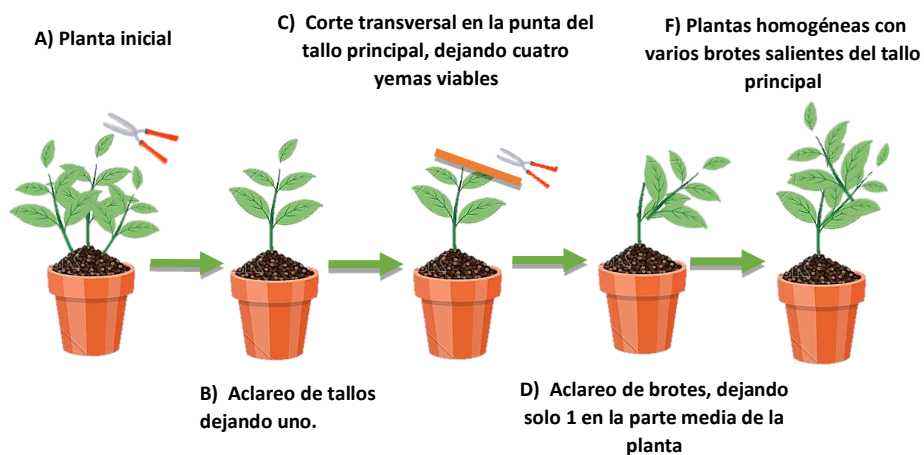


Figura 4 Esquema del proceso de homogenización del material vegetal.

Las plantas trasplantadas en las macetas con sustrato, se podaron retirando brotes secundarios, haciendo un aclareo dejando un solo tallo, posteriormente se realizó un corte transversal en la punta del tallo principal dejando yemas viables, de estas yemas crecieron brotes, el siguiente paso fue un aclareo de los brotes laterales se dejó un solo brote, de ese brote se produjo un tallo saliente principal, del cual se derivó una planta homogénea con material vegetal nuevo, este procedimiento tuvo una duración de 30 días y aseguró la

homogeneidad del material vegetal. Una vez que el material vegetal estuvo homogenizado continuó el proceso de aclimatación por 15 días más, manteniendo el régimen de riego de 0.3 L de agua desmineralizada cada 12 horas (tiempo total de aclimatación 75 días).

EXPERIMENTO 1: 24-EPIBRASINÓLIDO (24-EBL) COMO INDUCTOR DE ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE ARÁNDANO AZUL EN DIFERENTES SUSTRATOS

4.3.1 Material vegetal

El material vegetal se obtuvo de una poda de las plantas arándano (*V. corymbosum* L) previamente descritas, se seleccionaron ramas laterales y de estas se obtuvieron esquejes entre 7 y 10 cm de longitud con tres yemas axiales. Estas secciones de tallo se desinfectaron por inmersión en hipoclorito de sodio a 35 ppm por 1 minuto, después se enjuagaron cinco veces con agua desionizada y se sumergieron en solución con fungicida (LucavFlow® 10ml/L) por 1 min, finalmente se enjuagaron 10 veces con agua desionizada. La parte basal de los esquejes (2 cm) se colocó durante 2 horas en solución de 24-Epibrasinólido (24-EBL) y solución testigo (dimetilsulfóxido (DMSO) + monolaurato polioxietilensorbato agente surfactante tensoactivo (Tween 20) + agua destilada), posteriormente se trasplantaron a recipientes cúbicos de plástico negro de 1 L de capacidad, que contenían las mezclas de sustratos evaluados. Previo a la plantación, los sustratos fueron regados con agua desionizada hasta drenar y posteriormente se plantaron los esquejes. Los contenedores se regaron diariamente a capacidad de campo durante 30 días hasta finalizar el experimento.

Este experimento se instaló en el invernadero antes descrito, se utilizaron mesas de trabajo para colocar las macetas que contenían los esquejes y con los diferentes sustratos utilizados.

4.3.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental bifactorial con una distribución completamente al azar, con 4 repeticiones en cada maceta. Los factores estudiados fueron: A) Tipo de sustrato, con cuatro niveles: Peat Moss Turba Rubia Sphagnum® (PM); mezcla de PM + perlita en

relación 2:1 (V/V) (PMP); fibra de coco comercial (Power Forteco) (FC); mezcla de FC + perlita en relación 2:1 (V/V) (FCP); y mezcla de arena de río + tezontle en relación 1:1 (V/V) (AT); B) Concentración de 24-EBL a cuatro niveles: 0 $\mu\text{g L}^{-1}$, 20 $\mu\text{g L}^{-1}$, 40 $\mu\text{g L}^{-1}$, 60 $\mu\text{g L}^{-1}$. La combinación de estos factores generó 20 tratamientos que fueron repetidos 4 veces, quedando 80 unidades experimentales (UE), la que consistió en un esqueje.

4.3.3 Preparación de la fitohormona

Las soluciones de 24-EBL a 20 $\mu\text{g L}^{-1}$, 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ y 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ se obtuvieron mediante diluciones con agua destilada de una solución madre 24-EBL a concentración de 0.01 g L⁻¹. Esta solución se preparó disolviendo 10 mg de 24-EBL (Sigma-Aldrich Epibrassinolide, $\geq 85\%$) en 1 mL de dimetilsulfóxido (DMSO), después se agregó 0.025 L de agua bidestilada y 0.1% (V/V) de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) como surfactante, el volumen final se aforó a 1 L con agua bidestilada. Para la solución sin 24-EBL se añadieron las mismas concentraciones de dimetilsulfóxido (DMSO) y monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) a 1 L de agua.

4.3.4 Caracterización física de los sustratos

Los sustratos se desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio a 35 ppm y se lavaron tres veces con agua desionizada, se colocaron en recipientes de plástico negro de diseño cúbico con capacidad de 1 L. La CE del sustrato se determinaron con el método de extracto de saturación (Vargas *et al.*, 2008). La concentración de N en los sustratos se realizó por el método de microKjeldahl. El P, K, Ca y Mg se determinaron después de digestión húmeda y se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica (Varian ICP -AES Plasma 96). Estos análisis se realizaron por triplicado en el laboratorio Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán (CIDAM) ubicado en la ciudad de Morelia Michoacán.

La densidad aparente (D_a) se determinó por el método de la probeta (Acosta *et al.*, 2014) y la densidad real (D_r) por picnometría de líquidos (Díaz *et al.*, 2012). A partir de dichas determinaciones se obtuvo la porosidad total del sustrato utilizando la ecuación $P_t (\%) = 100(1 - D_a/D_r)$. La determinación de retención de humedad se realizó por el método de la columna colgante (Crespo *et al.*, 2018) y a partir de dicha medición se obtuvo porosidad de

aire (Pa). Estas pruebas se hicieron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF).

4.3.5 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de supervivencia de esquejes, número de esquejes enraizados (aquellos que tenían una raíz principal de 2 mm de longitud), número de raíces por esqueje, longitud de raíz principal y longitud total del sistema radicular. Para analizar el sistema radicular se tomaron fotografías de los esquejes enraizados por cada tratamiento y las imágenes se procesaron con el software Root System Analyser - analysis of images and sequences of plant roots, de la Universidad de Viena (Leitner et al., 2014). Los análisis se realizaron a los 30 días después del establecimiento del experimento (DDE).

4.3.6 Análisis estadístico

De los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza y en las variables con efecto significativo se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey en ambos análisis se utilizó a una probabilidad del 95% con el programa estadístico IBM SPSS® v26 2021.

FASE 2

EXPERIMENTO 1: EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE 24- EBL SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO, RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL ARÁNDANO CULTIVADO EN DIFERENTES CONCENTRACIONES DE DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO.

En el invernadero antes descrito, las plantas homogeneizadas se establecieron en un experimento factorial, con un arreglo completamente al azar, los factores que se estudiaron fueron: 1) Disponibilidad de N a dos niveles 0.6 mM y 6.0 mM, que se administró en riego con dos soluciones nutritivas durante 540 días (del 15 de febrero del 2019 al 15 de agosto 2020); y 2) Aplicación Foliar de 24-EBL a cuatro concentraciones 0.0 μ M, 0.10 μ M, 0.15 μ M y 0.20 μ M, aplicados en cada etapa de floración. La combinación de estos factores produjo 8 tratamientos, los cuales se repitieron 4 veces generando 32 unidades experimentales (UE) con cuatro plantas cada una, en total se utilizaron 128 plantas. La distribución de las UE se realizó de acuerdo con la figura 5.

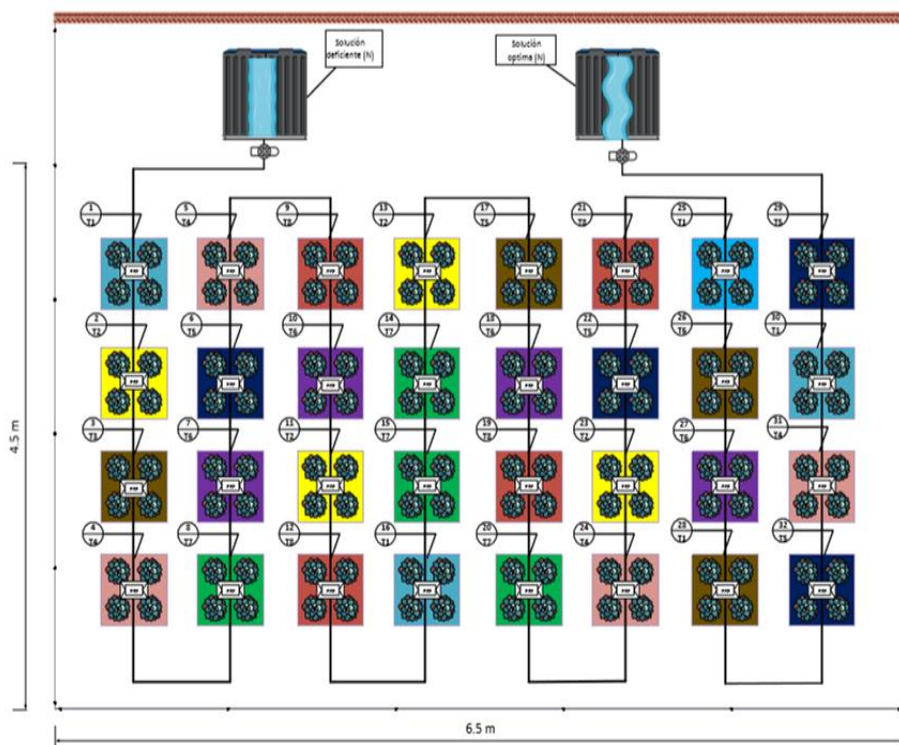


Figura 5 Esquema de la distribución del experimento instalado en sistema hidropónico en invernadero, diseño y elaboración propia.

4.4.1 Sistema de fertirriego

El sistema de riego consistió en dos depósitos con capacidad de 700 L y bombas eléctricas de 1/2 hp (IUSA MODELO: 616289). Las soluciones se suministraron utilizando mangueras de 16 mm y goteros de 8 Lph (litros por hora). El riego se realizó con pulsos de cuatro minutos cada 12 horas (a las 8:30 y 20:30 horas), con un gasto real de 0.5 L por planta por riego, con un gasto de 1.0 L de solución nutritiva por planta por día.

4.4.2 Preparación de la solución nutritiva

Las dos soluciones nutritivas utilizadas tenían: N en forma de NH_4^+ , CE de 1.8 mS cm^{-1} y pH ajustado a 4.5 - 5.0 con ácido sulfúrico (14 N), una carga iónica total de 16 Meq^{-1} , 1.0 Meq^{-1} de H_2PO_4 y una proporción de K^+ Ca^{++} Mg^{++} de 25%, 50% y 25% respectivamente, se modificó la proporción de aniones en función de los tratamientos aplicados. Las soluciones nutritivas se prepararon con agua desmineralizada, de acuerdo a las tablas 1 A y 1B.

Tabla 1 A. Solución nutritiva NH_4^+ 0.6 mM

Meq L ⁻¹	NO_3^-	H_2PO_4	SO_4	Σ
K^+	♦	1.00	2.85	3.85
Ca^{++}	♦	♦	7.70	7.70
Mg^{++}	♦	♦	3.85	3.85
NH_4^+	♦	♦	0.60	0.60
Σ	0.00	1.00	15.00	16.00

Tabla 1 B. Solución nutritiva NH_4^+ 6.0 mM

Meq L ⁻¹	NO_3^-	H_2PO_4	SO_4	Σ
K^+	♦	1.00	1.50	2.50
Ca^{++}	♦	♦	5.00	5.00
Mg^{++}	♦	♦	2.50	2.50
NH_4^+	♦	♦	6.00	6.00
Σ	0.00	1.00	15.00	16.00

Elaboración propia

Se utilizaron fertilizantes solubles grado fertirriego: fosfato monopotásico, sulfato de potasio, sulfato de amonio, fosfato monoamónico, sulfato de magnesio, cloruro de potasio, cloruro de calcio, solución madre de micronutrientes y solución madre de Fe EDTA. La preparación de las soluciones nutritivas se realizó con la relación gramos de sales por 100 litros de agua desmineralizada como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Gramos de fertilizantes para la formulación de las soluciones nutritivas

Fertilizantes/Sales de la solución	0.6 mM NH ₄ ⁺ (g/100 L)	6.0 mM NH ₄ ⁺ (g/100 L)
KH ₂ PO ₄ (Mol L ⁻¹)	67.10	67.10
K ₂ SO ₄ (Mol L ⁻¹)	221.56	221.56
(NH ₄) ₂ SO ₄	37.61	376.16
NH ₄ H ₂ PO ₄ (Mol L ⁻¹)	11.53	115.31
MgSO ₄ ·7H ₂ O (Mol L ⁻¹)	24.74	24.74
KCl (Mol L ⁻¹)	74.56	74.56
CaCl ₂ ·2H ₂ O (Mol L ⁻¹)	27.02	27.02
Solución de micros ()	14.5 ml	14.5 ml
*Solución Fe EDTA (**)	9 ml	9 ml

Nota: (*)- En 1L: 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂·4H₂O; 0,10 g ZnCl₂; 0,04 g CuCl₂; 0,02 g H₂MoO₄H₂O.

(**)- 24,9 g FeSO₄·7H₂O o 24,25 g de FeCl₂·6H₂O; 33,2g EDTA-Na; 89 mL NaOH 1N completar en 800mL H₂O.

FASE 3

DISEÑO EXPERIMENTAL 2: EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE 24-EPIBRASINOLIDE SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO, RENDIMIENTO, LA CALIDAD DEL ARÁNDANO CULTIVADO EN DIFERENTES CONCENTRACIONES DE DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO.

4.5.1 Preparación de 24-EBL

Para la preparación de la solución madre de 24-EBL, se disolvieron 10 mg (4.87 mM) de 24-EBL (85% de pureza, Sigma Aldrich) en una solución tensoactiva que contenía 0.01 L

de etanol al 96% y 0.01 L de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) al 0.1% (v/v), una vez disuelto el soluto, la solución se aforó con agua destilada a volumen de 1 L. Las soluciones de trabajo se prepararon a partir de la solución madre a cuatro concentraciones a 0.10 μM , 0.15 μM , 0.20 μM , y para la solución a 0.0 μM se preparó una solución con 0.01 L de etanol al 96% y 0.01 L de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) al 0.1 % (v/v), la solución se aforó a 1 L con agua destilada (la solución 0.0 μM no contenía soluto). Estas soluciones se almacenaron en refrigeración de 2 °C a 4 °C, en botellas de vidrio color ámbar que se forraron con papel aluminio para proteger la solución de la luz.

4.5.2 Aplicación foliar de las soluciones de BRs

A los 150 días después del establecimiento (DDE, el día uno del experimento corresponde al inicio de los tratamientos nutritivos en el fertirriego, con las soluciones a 0.6 mM y 6.0 mM de N), durante la segunda floración, las plantas fueron asperjadas con 0.015 L de solución de 24-EBL a 0.00 μM , 0.10 μM , 0.15 μM , 0.20 μM . La aspersión de brasinoesteroide se repitió en cada floración, durante todo el experimento (total 8 aplicaciones).

4.5.3 Variables evaluadas

6.5.3.1 Muestreos no destructivos:

Se realizaron mediciones no destructivas, con una frecuencia de 15 días para determinar:

Altura de la planta, se utilizó con un flexómetro (Truper, modelo: FH-3M) a partir de donde se identificó la primera yema vegetativa viable, hasta el ápice de la planta,

Número de hojas por rama.

Número de ramas por planta.

Número de brotes florales por planta.

Intercambio gaseoso. Se midió la tasa de asimilación neta de CO_2 (P_n), la concentración de CO_2 (C_i), la conductancia estomática (G_s), la tasa de transpiración (E) con un sistema de fotosíntesis portátil (Li-6400; LI-COR Inc. EEUU). De cada planta de las diferentes unidades experimentales, se seleccionó al azar una hoja madura completamente expandida

para realizar mediciones de intercambio de gases en la hoja (P_n , C_i , G_s y E), a concentración de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 y saturación de luz a $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La medición se realizó 24 h antes y después de la aplicación del brasinoesteroide, dentro del invernadero en el horario entre las 7-9 am.

6.5.3.2 Muestreos destructivos

Se realizaron cuatro muestreos destructivos en los días 180, 240, 300 y 360 DDE, para estos muestreos se tomó una planta al azar de cada unidad experimental para medir las siguientes variables:

Área Foliar. Se midió en un planímetro electrónico digital (Li-cor21 2001, LICOR, Licoan NE).

Biomasa de tejido vegetal. Se tomó una planta de cada unidad experimental y se retiró de la maceta, se limpió el sustrato de las raíces y posteriormente se segmentaron los diferentes órganos de la planta colocando en bolsas de papel hojas, tallos y raíces. El material vegetal se pesó en fresco en una balanza electrónica (Mettler Toledo, Modelo: PR8002) y se seleccionaron muestras de hoja frescas para realizar la extracción de compuestos fitoquímicos y pigmentos esta muestra se reservó para su posterior análisis, el resto del material se secó en un horno (Felisa, FE291) a 65°C durante 48 horas, la biomasa se pesó en una balanza electrónica de precisión (Mettler Toledo, Modelo: PR8002). Para determinar la biomasa seca total se realizó una corrección para estimar la masa del material que no se secó y se consideró todo el material vegetal.

Contenido de N. Se tomaron 5 gr de muestra de tejido vegetal seco de cada órgano de la planta: hojas, tallos y raíces, posteriormente se analizó por el método Kjeldahl descrito por Sadzawka et al. (2004).

Contenido de clorofilas α y β . Se seleccionó una muestra de hojas frescas y se preparó un extracto con DMSO al 80% como solvente, el cálculo de clorofila se realizó utilizando las fórmulas de Holm y Wettstein según el método descrito por Ronen R y Galun M (1984). La clorofila se midió por método espectrofotométrico (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), con la absorbancia a 440.5, 644 y 662 nm.

Preparación de extracto para la determinación de compuestos fitoquímicos y actividad antioxidante. Se obtuvo un extracto de hojas, se tomó una cantidad de 5 g de muestra de hojas frescas, que se liofilizaron en un equipo liofilizador Labconco™

FreeZone™ -105 °C 4.5L Benchtop Freeze Dry Systems, posteriormente se realizó una molienda con nitrógeno líquido, la muestra se mezcló con 5 ml de etanol al 70% v/v en agua. La mezcla se expuso durante 1 min en el vórtice (Heidolph Reax top) y 30 min en un baño ultrasónico a 20 °C. Posteriormente, las muestras se centrifugaron durante 15 min a 10.000 rpm. El sobrenadante se filtró mediante un filtro de nailon (Chromafil Xtra PA-45/13, Macherey-Nagel, Düren, Alemania) y se almacenó a temperatura de congelación (-70 °C) hasta su posterior análisis.

Determinación de fenoles totales en hojas. El contenido total de compuestos fenólicos de los extractos de hojas se determinó utilizando el método descrito por Singleton y Rossi, (1965). Se añadió reactivo de Folin-Ciocalteu (100 µl) y carbonato de sodio saturado (200 µl) a un volumen de 100 µl del extracto. Se agregaron 1.5 mL de agua destilada y se mezcló completamente. La mezcla se colocó en la oscuridad durante 35 min a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 4000 rpm durante 10 min. La absorbancia se leyó a 725 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). El contenido fenólico total se midió usando ácido gálico como estándar y se registró en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de hojas.

Determinación de Flavonoides Totales. El contenido total de flavonoides se midió utilizando el método propuesto por Zhishen et al. (1999). Se añadió 500 µl de extracto y solución estándar de catequina a 2 ml de agua destilada y 150 µl de nitrito de sodio al 5 % (peso/vol). Después de 5 min se añadieron 150 µl de cloruro de aluminio ($AlCl_3$) al 10 % (peso/vol), seguidos de 1 ml de solución de hidróxido de sodio 1 M. La mezcla se diluyó con la adición de 1.2 ml de agua destilada y la absorbancia de la mezcla (cuando viro a color rosa) se determinó a 510 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). La concentración de flavonoides totales de las hojas se expresó en miligramos de equivalentes de catequina por gramo de hojas.

Determinación del contenido de Taninos condensados (Proantocianidina). El contenido de taninos condensados se determinó utilizando el método de vainillina descrito por Butler et al, (1982). Se añadió reactivo de vainillina-HCl al 0.5 % (2.5 ml) a 0.5 ml de extracto diluido y solución estándar de catequina, se mezcló completamente y se incubó a 30 °C en la oscuridad durante 20 min. La absorbancia se leyó a 500 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). El contenido de taninos condensados se expresó en miligramos de equivalentes de catequina por gramo de peso seco de hojas.

Actividad antioxidante de extracto de hojas. Esta variable se evaluó usando dos métodos, el método ABTS y el método DPPH, los cuales se describen a continuación.

El método ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se basa en la desactivación del catión radical antioxidante ABTS⁺, que se mide por la disminución de la absorbancia a 734 nm. El método ABTS El método se realizó según lo descrito por Re et al (1999). La absorbancia se leyó a 734 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), 7 minutos después de la adición del extracto. La actividad antioxidante total de las hojas se expresó en $\mu\text{Mol.100 g}^{-1}$ de TEAC (capacidad antioxidante equivalente a Trolox).

El radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es uno de los pocos compuestos nitrogenados orgánicos estables y comercialmente disponibles. El método se basa en la desactivación del radical DPPH por compuestos con propiedades antioxidantes presentes en extractos de frutas y esta desactivación se monitoriza a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). El método DPPH se llevó a cabo según lo descrito por Kim et al. (2002). Se evaluó la disminución de la absorbancia del radical DPPH 100 μM (2.9 mL) disuelto en metanol al 80% a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), 30 minutos después de la adición de cada extracto. La actividad antioxidante total de las hojas, también se expresó en $\mu\text{Mol.100 g}^{-1}$ de TEAC.

Determinación de rendimiento y peso del fruto. Los frutos maduros se cosecharon a mano dependiendo de la tasa de maduración. Se pesaron las frutas en una balanza digital (Mettler Toledo, Modelo: PR8002) y se contó y pesó una submuestra de 100 frutas para calcular el número de frutas por planta y peso promedio de la baya.

Determinación acidez titulable del fruto. La acidez titulable (AT) de la fruta se determinó en cuarenta frutos de cada unidad experimental (10 frutos de cada planta) a través del método de titulación potenciométrica utilizando un titulador automático Titroline Easy (SI Analytics GmbH) como se describe por Castrejón et al. (2008).

Determinación de calibre y firmeza. El tamaño de la fruta (diámetro ecuatorial) se midió en cada cosecha con un vernier electrónico (Trupper Modelo: CAL-6MP) simultáneamente en 10 frutas por planta de cada unidad experimental cuarenta frutos por unidad experimental. La firmeza se determinó en 40 frutos por unidad experimental con un texturometro de sonda para fruta (AMETEK Modelo: CT3 Brookfield). El equipo se montó

con fuerzas de compresión máximas y mínimas de 200 g (1,96 N) y 15 g (0,15 N), respectivamente, y una velocidad del pistón de 6 mm s⁻¹ (Ehlenfeldt y Martin 2002)

Determinación de pH y TSS. Los valores de pH se determinaron con el jugo de 10 frutos por planta, en total se procesaron 40 frutos por unidad experimental, se utilizó un potenciómetro electrónico (ORION Modelo: 00430). Los sólidos solubles totales (TSS) se midieron con el jugo de 10 frutos por planta, en total se procesaron 40 frutos por unidad experimental, se utilizó un refractómetro digital termocompensado (Hannah Instruments, Modelo: H19813) que fue previamente calibrado con agua destilada.

Preparación de extractos para la determinación de compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante en fruto. Se muestrearon 100 g de fruto fresco por cada planta, los frutos se liofilizaron en un equipo Labconco™ FreeZone™ -105°C 4.5L Benchtop Freeze Dry Systems y se molieron (molino de bolas Tetsch MM 200), con nitrógeno líquido, el polvo seco se mezcló con metanol (60 mL) en un baño de ultrasonidos (USC-1400 Unique) durante 15 minutos a temperatura ambiente (20 °C). El extracto se centrifugó a 2000 RPM durante 10 minutos y el sobrenadante se almacenó en un matraz ámbar. Este extracto se utilizó para determinar los compuestos fenólicos totales (FT) y para el análisis de la actividad antioxidante (AA).

Muestras de arándano liofilizado en polvo, se extrajeron con metanol acidificado (HCl 0.1%) (15 mL) en un baño de ultrasonidos (USC-1400 Unique) durante 30 minutos a temperatura ambiente (20 °C). El extracto se centrifugó a 2000 RPM durante 10 minutos y el sobrenadante se utilizó para evaluar el contenido de antocianinas totales (TA).

Determinación de compuestos fenólicos totales (FT). El contenido fenólico total de cada extracto se determinó espectrofotométricamente (Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible) según el método de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965). La absorbancia se leyó a 765 nm y los resultados se expresaron, en peso fresco, como mg.100 g⁻¹ equivalente de ácido gálico (GAE).

Determinación de antocianinas totales (AT). El contenido de antocianinas totales se determinó por el método del diferencial de pH (GIUSTI; WROLSTAD, 2001). La absorbancia se leyó a 700 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible) a la longitud de onda de máxima absorción. Los resultados, se expresaron como la concentración de antocianinas en mg.100 g⁻¹ equivalente de cianidina-3-glucósido (ϵ = 26900, PM = 449,2).

Contenido total de flavonoides de los frutos. El contenido total de flavonoides se llevó a cabo de acuerdo con el método planteado por Lichtenthaler (1987). El polvo de arándano liofilizado se mezcló 0.5 ml de solución de NaNO_2 (1,5%), posteriormente se agregó 1 mL de AlCl_3 (3%) y NaOH (1 mol L^{-1}). Después de la incubación durante 5 min en la oscuridad, la absorbancia se midió a 490 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible. Los resultados se expresaron como equivalentes de epicatequina mg (EE) por 100 g de peso de la fruta ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ FW}$).

Actividad antioxidante de extracto del fruto. Esta variable se evaluó usando dos métodos, el método ABTS y el método DPPH, los cuales se describen a continuación.

El método ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se basa en la desactivación del catión radical antioxidante ABTS^+ , que se mide por la disminución de la absorbancia a 734 nm. El método ABTS El método se realizó según lo descrito por Re et al (1999). La absorbancia se leyó a 734 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), 7 minutos después de la adición del extracto. La actividad antioxidante total de las hojas se expresó en $\mu\text{Mol.}100 \text{ g}^{-1}$ de TEAC (capacidad antioxidante equivalente a Trolox).

El radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es uno de los pocos compuestos nitrogenados orgánicos estables y comercialmente disponibles. El método se basa en la desactivación del radical DPPH por compuestos con propiedades antioxidantes presentes en extractos de frutas, y esta desactivación se monitoriza a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). El método DPPH se llevó a cabo según lo descrito por Kim et al. (2002). Se evaluó la disminución de la absorbancia del radical DPPH $100 \mu\text{M}$ (2.9 mL) disuelto en metanol al 80% a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), 30 minutos después de la adición de cada extracto. La actividad antioxidante total de las hojas, también se expresó en $\mu\text{Mol.}100 \text{ g}^{-1}$ de TEAC.

4.5.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron por medio de un análisis de varianza (ANOVA) para determinar los efectos significativos de los factores en cada tratamiento sobre los parámetros medidos. Las medias de las variables estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) se separaron con la prueba de Tukey (software SPSS), después de que se cumplieron los supuestos estadísticos. Los análisis estadísticos se realizaron con el Software SPSS V.26 (SPSS-IBM, Orchard Road-Armonk, Nueva York).

RESULTADOS

Capítulo 1

**Unlocking the Green Potential: Brassinosteroids in Horticultural
Crops (REVIEW ARTICLE)**

Unlocking the Green Potential: Brassinosteroids in Horticultural Crops

ABSTRACT

Brassinosteroids (BRs) play a crucial role in regulating root growth and development in horticultural crops through intricate molecular mechanisms. This review delves into the multifaceted effects of BRs on root architecture, emphasizing their potential practical applications in modern agriculture. The molecular signaling pathways of BR action, involving the BRI1 receptor, BZR transcription factors, and downstream target genes, orchestrate processes such as cell elongation, lateral root development and hormone crosstalk. By unraveling the molecular intricacies of BR-mediated root growth, researchers aim to develop targeted strategies for crop improvement and sustainable agricultural practices. The positive impact of BRs on fruit quality, production yield, nutrient metabolism, and stress tolerance highlights their significance as valuable tools for enhancing crop productivity. As our understanding of the complex regulatory networks involving BRs advances, their application in horticulture holds great promise for meeting the increasing demands for high-quality fruits and sustainable agricultural practices.

Keywords: Brassinosteroid · Performance · Quality · Environmental Stress · Development

INTRODUCTION

Brassinosteroids (BRs), a class of plant hormones, have emerged as pivotal regulators influencing various physiological processes in horticultural crops. Their unique ability to enhance root system development has garnered significant attention within the agricultural community. This review aims to explore the multifaceted effects of BRs on root growth in

different agricultural crops, shedding light on their practical implications for modern horticulture (Clouse, 2011).

Brassinosteroids (BRs) constitute a unique class of plant hormones characterized by their steroidal structure, akin to those found in animals and certain fungi. First discovered in 1979, with brassinolide isolated from *Brassica napus* L. pollen, subsequent research has identified numerous analogues of this molecule (Unterholzner et al., 2015). BRs exert their effects at remarkably low concentrations, distinguishing them from other growth regulators.

The practical utilization of BRs in horticulture holds immense promises for optimizing crop production. By tailoring BR application strategies, farmers can potentially improve the root system architecture of various crops, including fruits, vegetables, and ornamental plants. This targeted approach can lead to enhanced nutrient use efficiency, stress tolerance, and overall crop yield (Gupta et al., 2022).

Over the past four decades, research efforts have elucidated the mechanisms of action of BRs within plants, particularly in horticultural crops. These phytohormones exhibit a broad spectrum of stimulatory and protective effects, influencing cellular activities with significant implications for crop quality and yield.

Initial investigations in the 1980s primarily focused on isolated BRs molecules such as 24-Epibrasinolide (24-EBL) and 28 Homobrasinolide (28-HBL), assessing their impact on plant growth and crop yield under natural conditions. However, recent studies have shifted towards evaluating the role of BRs in mitigating plant stress, including heavy metal contamination, water stress, and high salinity concentrations. Results indicate that BRs application can enhance crop resilience under adverse environmental conditions (Ali et al., 2022).

BRs have been successfully utilized in a variety of crops, including rice, corn, wheat, as well as fruits and vegetables such as kiwi, strawberry, grape, and tangerine (Bajguz et al., 2003; Nakashita et al., 2003; Kir et al., 2017; Babalik et al., 2020; Furio et al., 2022). Notably, BR application has demonstrated positive effects on crop yield, fruit quality, and disease resistance.

Furthermore, BRs increase plant resistance to both biotic and abiotic stressors, potentially serving as substitutes for traditional pesticides. Exogenous application of BRs stimulates biochemical pathways and enhances physiological processes, particularly in areas characterized by soil salinity, nutrient deficiencies, prolonged drought, and low temperatures (Clouse & Sasse, 1998).

This review aims to synthesize the latest research findings on the role of BRs in improving crop yield, enhancing fruit quality, optimizing nutrient utilization, and increasing phytochemical compounds. Additionally, we will explore their impact on plant propagation and their efficacy in mitigating biotic and abiotic stress conditions.

BR SIGNALING PATHWAY

The molecular mechanism of BRs action begins with the perception of BRs by the membrane-localized receptor, BRASSINOSTEROID-INSENSITIVE 1 (BRI1). Upon binding of BRs, BRI1 undergoes conformational changes and activates a downstream signaling cascade involving a series of phosphorylation events. This cascade ultimately leads to the activation of transcription factors known as BRASSINAZOLE-RESISTANT (BZR) proteins, key regulators of BR-responsive gene expression (Wang et al., 2012). The BZR proteins play a central role in transducing the BR signal and modulating the expression of genes involved in cell elongation, division, and differentiation, influencing root growth (Vert et al., 2005).

CELL ELONGATION AND EXPANSION

One of the primary effects of BRs on root growth is the stimulation of cell elongation and expansion. BZR proteins directly regulate the expression of genes involved in cell wall modification, such as expansins and xyloglucan endotransglucosylase/hydrolases (XTHs). These genes contribute to the loosening of the cell wall structure, allowing for increased cell elongation. Additionally, BRs promote the activation of plasma membrane H⁺-ATPases, facilitating proton pumping and cell wall acidification, further supporting cell expansion (Müssig et al., 2003). The orchestrated regulation of these processes by BRs ensures proper root cell growth and elongation.

LATERAL ROOT DEVELOPMENT

Brassinosteroids also influence lateral root development through intricate molecular mechanisms. Studies have identified that BRs positively regulate the expression of genes involved in lateral root initiation and emergence. The interaction between BZR proteins and auxin-responsive genes, such as those of the Aux/IAA family, contributes to the coordination of auxin and BR signaling pathways during lateral root development (Vilarrasa-Blasi et al., 2014). The crosstalk between BRs and auxin, another key plant hormone, highlights the complexity of hormonal regulation in shaping the root architecture.

CROSS-TALK WITH OTHER HORMONES

Brassinosteroids engage in cross-talk with other hormones, further influencing root growth. The interplay between BRs and gibberellins (GAs) has been well-documented, with evidence suggesting that BRs enhance GA biosynthesis and signaling, promoting root elongation (Nakashita et al., 2003). Additionally, interactions between BRs and abscisic acid (ABA) have been identified, influencing root growth under stress conditions (Divi et al.,

2010). Unraveling the molecular details of these hormone interactions provides insights into the integrated regulation of root development in response to various environmental cues.

THE IMPACT OF BRASSINOSTEROIDS ON ROOT ARCHITECTURE

Studies have demonstrated that BRs play a crucial role in shaping the architecture of the root system in horticultural crops. The application of exogenous BRs has been shown to promote lateral root formation and elongation, leading to an overall increase in root biomass. These effects contribute to improved nutrient and water uptake efficiency, ultimately enhancing the plant's overall growth and productivity (Li et al., 2019).

In addition to lateral root development, BRs have been found to positively influence root hair formation. Root hairs are essential for nutrient absorption, and BR-induced enhancement of root hair density can significantly contribute to the plant's ability to exploit soil resources effectively (Nolan et al., 2020).

MOLECULAR MECHANISMS UNDERLYING BRASSINOSTEROID-MEDIATED ROOT GROWTH

Understanding the molecular mechanisms by which BRs influence root growth is crucial for harnessing their potential in horticulture. BRs are known to activate specific signaling pathways, involving the BRI1 receptor and downstream transcription factors. These pathways regulate the expression of genes associated with cell elongation, division, and differentiation in the root system, providing insights into the molecular basis of BR-induced root development (Wang et al., 2021).

BRASSINOSTEROIDS AND SHOOT GROWTH

Research indicates that BRs play a pivotal role in shoot development across a spectrum of horticultural crops. The application of exogenous BRs has been shown to stimulate cell elongation, increase leaf area, and enhance overall shoot biomass. This effect is attributed to BRs' ability to modulate the expression of genes involved in cell expansion and division, influencing shoot architecture and promoting greater crop yield (Clouse, 2016).

BRASSINOSTEROIDS AND FLOWERING

The influence of BRs on flowering is a crucial aspect of horticultural crop management. Studies suggest that BRs contribute to the regulation of flowering time and the transition from vegetative to reproductive phases. By modulating the expression of key flowering genes, BRs offer the potential to manipulate flowering processes in crops, allowing for precise control over the timing of reproduction, which is essential for optimizing yield (Li et al., 2018).

BRASSINOSTEROIDS AND FRUIT DEVELOPMENT

In the context of fruit crops, BRs exhibit significant effects on fruit development and quality. The application of BRs has been linked to increased fruit set, accelerated fruit maturation, and improved fruit size. These effects are associated with BRs' ability to regulate hormone crosstalk, impacting processes such as cell division, expansion, and sugar metabolism, ultimately influencing fruit yield and quality (Divi and Krishna, 2009).

BRASSINOSTEROIDS AND FRUIT SET

The application of BRs has been associated with improved fruit set in several horticultural crops. Studies have shown that exogenous BRs can enhance pollen tube elongation, ovule

fertilization, and early fruit development. This increased fruit set not only contributes to higher production yield but also influences the uniformity and consistency of fruit quality parameters (Kutschera, 2020).

BRASSINOSTEROIDS AND FRUIT SIZE

BRs play a crucial role in regulating cell division and expansion, impacting the final size of fruits in horticultural crops. Research has demonstrated that the exogenous application of BRs leads to larger fruit size by promoting cell enlargement in various tissues. This effect is particularly noteworthy in fruits such as tomatoes, grapes, and strawberries, where increased size is often correlated with improved market value and consumer preference (Symons et al., 2006). Table 1. Below illustrates various studies conducted on different crops, highlighting the impact of brassinolides. While the positive effects of BRs on fruit quality and production yield are evident, challenges exist in optimizing application protocols for different crops. The dosage, timing, and cultivar-specific responses to BRs need careful consideration. Future research should focus on developing tailored strategies for specific fruit crops, considering variations in genetic backgrounds and environmental conditions to maximize the practical benefits of BR application (Shah et al., 2021).

Table 1. Impact of Brassinosteroids on Crop Quality Across Various Crops

Crop	Type of Treatment	Effects on Quality Attributes	References
Potato	Foliar treatment with 28-BL (10^{-2} – 10^{-4} ppm).	Promoted potato tuber development Increased tuber fraction by 24% Inhibited tuber germination during storage Enhanced resistance to Phytophthora infectants and Fusarium sulphureous infections.	Kazakova et al., 1991.

Pepper	Foliar treatment with 10^{-6} M of 24-epibrassinolide at different stages.	Improved number of flowers, fruit yield per plant. Physicochemical variables related to quality enhanced: fresh weight, height/diameter ratio, number of fruits, firmness, color, ripening index.	Samira et al., 2012.
Spinach	Soaking seeds in aqueous solution at 10^{-2} ppm EBL.	Improved germination from 54% to 72%. Enhanced crop yield by improving underground and above-ground parts.	Maghsoudi et al., 2021.
Beet	Foliar treatment with 10^{-6} M of 24-epibrassinolide.	Increased bulb growth by 18%. Improved sugar content rate by 12-26%. Enhanced crop yield and sugar content by 10-13% under stress-free conditions and 8% under stress.	Wang et al., 2019.
Cucumber	Soaking seeds in aqueous solution at 10^{-2} ppm EBL.	Increased flowering rate. Enhanced fruit size	Manzano et al., 2011.
Watermelon	Foliar treatment with 10^{-4} M of 24-Epibrassinolide.	Improved yield by 20%. Increased fruit set and number of flowers. Delayed senescence	Susina et al., 2012.
Strawberry	Foliar treatment with 10^{-3} M of 24-epibrassinolide.	Enhanced quality and yield. Increased fruit set. Preventing premature shedding of young fruits. Delayed senescence and other factors affecting yield and fruit quality.	Chai et al., 2013.

*Own elaboration

BRASSINOSTEROIDS AND STRESS TOLERANCE

The role of BRs in enhancing stress tolerance is vital for maintaining fruit quality and production yield under adverse environmental conditions. BRs have been demonstrated to mitigate the impact of abiotic stresses such as drought, salinity, and temperature extremes on fruit crops. By modulating stress-responsive genes and promoting antioxidant defense mechanisms, BRs contribute to the resilience of horticultural crops, ensuring sustained productivity and quality even in challenging environments (Planas-Riverola et al., 2019).

BRs have been found to mitigate the adverse effects of various environmental stressors, including drought, salinity, and temperature extremes. By activating stress-responsive genes and promoting antioxidant defense mechanisms, BRs contribute to the plant's ability to withstand challenging environmental conditions, offering a promising avenue for sustainable crop production (Vriet et al., 2012).

Despite the promising effects of BRs, challenges remain in optimizing their practical application in diverse horticultural systems. Fine-tuning dosage, application timing, and understanding crop-specific responses are essential for maximizing the benefits of BRs. Future research should delve into the intricate molecular mechanisms underlying BRs interactions with different crops, paving the way for tailored approaches to improve horticultural practices (Jiang et al., 2021).

CONCLUSION

This cane of phytohormone emerges as versatile growth regulators with significant potential for practical use in horticulture. Their impact on shoot growth, flowering, fruit development, and stress tolerance positions BRs as valuable tools for optimizing crop production. As researchers continue to unravel the complexities of BR signaling pathways, horticulturists

can leverage this knowledge to develop targeted strategies for harnessing the full potential of BRs in diverse agricultural settings.

The molecular mechanisms underlying BRs-mediated root growth involve a sophisticated network of signaling pathways and interactions with other hormones. The BRI1 receptor, BZR transcription factors, and downstream target genes collectively orchestrate processes such as cell elongation, lateral root development, and hormone crosstalk. Understanding these molecular intricacies not only enhances our fundamental knowledge of plant biology but also holds promise for the practical application of BRs in agriculture. By deciphering the molecular language of BRs in root growth regulation, researchers can contribute to the development of targeted strategies for crop improvement and sustainable agricultural practices.

Brassinosteroids present exciting opportunities for horticulturists to enhance fruit quality and production yield in diverse agricultural crops. The positive impact on fruit set, size, nutrient metabolism, and stress tolerance positions BRs as valuable tools for sustainable and efficient fruit production. As our understanding of the complex regulatory networks involving BRs advances, their practical application in horticulture holds great promise for meeting the increasing demands for high-quality fruits.

REFERENCIAS CITADAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capítulo 2

24-Epibrasinólido (24-EBL) como inductor de enraizamiento de esquejes de arándano azul en diferentes sustratos

<https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.3115>

24-Epibrasinólido (24-EBL) como inductor de enraizamiento de esquejes de arándano azul en diferentes sustratos

RESUMEN

Los brasinoesteroides son fitohormonas esteroidales que se han utilizado ampliamente en la agricultura, se han realizado pocos estudios sobre el efecto que pueden tener para inducir la formación de raíces en esquejes de arándano (*Vaccinium corymbosum*). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del 24-Epibrasinéólido (24-EBL) a distintas concentraciones (0, 20, 40 y 60 $\mu\text{g L}^{-1}$) y del sustrato sobre el enraizamiento de esquejes, se utilizó mezcla de arena de río y tezontle (AT), turba (Peat Moss ®) y perlita (PMP), mezcla de fibra de coco y perlita (FCP), turba (Peat Moss ®) (PM) y fibra de coco (FC). Las variables evaluadas a los 30 días después de establecido del experimento fueron porcentaje de supervivencia (%SE), porcentaje de esquejes enraizados (%ER), número de raíces por esqueje (NR), longitud de raíz principal (LRP) y longitud total del sistema radicular (LTR). Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey. Los resultados mostraron que los esquejes de arándano con 24-EBL a una concentración de 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ en sustrato de AT presentan 84.7% de supervivencia y 67.76 % de esquejes enraizado. Los esquejes expuestos a 24-EBL a una concentración 40 y 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ insertados en sustrato de mezcla de AT presentaron una mayor longitud de raíz y más raíces por esqueje en comparación con otros sustratos. Se concluye que el 24- EBL induce la formación de raíces en esquejes de plantas de arándano en sustrato de AT.

Palabras clave: Brasinoesteroide, Sustrato, Esquejes, Arándano Azul.

INTRODUCCIÓN

El arándano azul (*Vaccinium corymbosum*) es una de las frutillas de mayor relevancia económica en México y a nivel mundial, se caracteriza por el contenido de compuestos fenólicos con actividad antioxidante (Rodríguez, *et al.*; 2019). En el 2020, México se posicionó en el sexto lugar de producción con 50,293 toneladas, 2.6% más que el año anterior. La producción de esta baya ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos 10 años registrando una tasa media anual de crecimiento del 25.1% (SIAP, 2021).

Uno de los principales métodos de propagación del arándano azul es por enraizamiento de estacas o “esquejes” (Villegas *et al.*, 2019). Concurren diversos elementos que afectan la capacidad de enraizamiento de los esquejes (Cárdenas y López, 2011), entre los que destacan tipo de sustrato, reguladores de crecimiento exógenos y endógenos, nutrición y condición fisiológica de las plantas madre, tipo de esqueje, época de enraizamiento y condiciones medioambientales (A'saf *et al.*, 2020).

En la propagación por esquejes se utilizan diferentes tipos de sustratos de origen mineral y orgánico, destaca el uso de turba que está hecha a base de materiales vegetales descompuestos, tiene buena retención de agua y aireación, la inestabilidad en su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfiere en la nutrición vegetal (Braha y Rama, 2018). La fibra de coco es otro sustrato que se utiliza con frecuencia, es una fibra compuesta por celulosa y lignina, se caracteriza por poseer baja conductividad eléctrica, retener humedad, ser resistente a las bacterias y presentar alta compactación cuando se encuentra en polvo, lo que genera problemas de aireación por tal motivo se combina con otros sustratos (Putrino *et al.*, 2020).

Por otro lado, la arena de río presenta buenas características granulométricas que varía entre 0.5 y 2 mm de diámetro, una arena deseable para la producción de plantas en contenedores deberá tener principalmente partículas de tamaño mediano y grueso. El uso

de arenas con una distribución amplia (dispersa) de tamaños de partícula es indeseable, ya que podría resultar en un sustrato con baja capacidad de aireación. El uso de arena deberá restringirse a menos de una tercera parte del volumen total del sustrato, ya que puede resultar en un alto peso por volumen (densidad aparente), lo que no es recomendable, su capacidad de retención de agua es media y su intercambio catiónico es nulo (Luna *et al.*, 2021).

La perlita y el tezontle son considerados un sustrato inerte que tienen origen mineral. Las rocas volcánicas que han sido sometidas a temperaturas de ignición sufren modificaciones en su estructura física, generando rocas ligeras y porosas, que favorecen la infiltración de agua en movimiento descendente. Por estas características al mezclar sustratos minerales con orgánicos se consigue una relación ideal de retención de humedad, concentración de nutrientes y drenaje. Esto permite una buena aireación de las raíces (Bannoud y Bellini, 2021).

De acuerdo con Pagani *et al.* (2015) la interacción que tiene la composición del sustrato con las condiciones ambientales como humedad, temperatura, nutrientes administrados por riego y la presencia de hormonas genera buenas condiciones para el enraizamiento, tomando en consideración que se mantenga la textura y la estructura de este.

Una de las prácticas más comunes para inducir la formación de raíces es el uso de reguladores de crecimiento y las más utilizados son las auxinas (Blythe *et al.*, 2004) y recientemente los brasinoesteroides (BR) (Serna *et al.*, 2012) que son considerados como la sexta fitohormona, son sustancias esteroidales que estimulan el crecimiento de las plantas cuando son aplicados de forma exógena (Vazquez *et al.*, 2019). Estos se descubrieron en 1960 y actualmente se utilizan con diversos fines en la agricultura.

Los diferentes análogos de brasinoesteroides han mostrado efectos en el metabolismo primario y secundario de varios cultivos como el tomate, pepino y uva en donde se observó un incremento en el área foliar, elongación del tallo, crecimiento del tubo polínico,

reorientación de las microfibrillas de celulosa en tallo y hojas, (Hussain *et al.*, 2020) , inducción de la formación de tejido conductor en raíces, cambios en la actividad de la fotomorfogénesis y en la división celular, también pueden estimular o inhibir la rizogénesis y participan en señalización de múltiples reacciones bioquímicas de fosforilación y metilación de complejos quinasas en la membrana celular (Bergonci *et al.*, 2014).

Sin embargo, hasta el momento no se han desarrollado suficientes estudios que muestren el efecto de los brasinoesteroides sobre el desarrollo radicular de esquejes de arándano utilizando distintos sustratos. Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de 3 diferentes concentraciones de 24- Epibrasinolide (24-EBL) y 5 mezclas de sustrato en el enraizamiento y supervivencia de esquejes de plantas de arándano en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del área experimental

El experimento se realizó en un invernadero del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo ubicado en Carretera Morelia Zinapécuaro kilómetro 9.5, 58880, Tarímbaro, Michoacán. Con coordenadas geográficas: 19.7681622, - 101.1513041. Elevación 1860 m.

Material vegetal

El material vegetal consistió en esquejes entre 7 y 10 cm de longitud con tres yemas axiales que se obtuvieron de ramas laterales, seleccionadas durante una poda de plantas sanas de *Vaccinium corymbosum* variedad Biloxi de 2 años. Estas secciones de tallo se desinfectaron por inmersión en hipoclorito de sodio a 35 ppm por 1 minuto, después se enjuagaron cinco veces con agua desionizada y se sumergieron en solución con fungicida (LucavFlow® 10ml/L) por 1 min, finalmente se enjuagaron 10 veces con agua desionizada. La parte basal de los esquejes (2 cm) se colocó durante 2 horas en solución de 24-

Epibrasinolido (24-EBL) y solución testigo (dimetilsulfóxido (DMSO) + monolaurato polioxietilensorbato agente surfactante tensoactivo (Tween 20) + agua destilada), posteriormente se trasplantaron a recipientes de plástico negro cúbicos de 1 L de capacidad que contenían las mezclas de sustratos, previo a la plantación, los sustratos fueron regados con agua desionizada hasta drenar y posteriormente se plantaron los esquejes, los contenedores se regaron diariamente a capacidad de campo durante 30 días hasta finalizar el experimento.

Condiciones en el invernadero

El invernadero donde se instaló el experimento es tipo techumbre curva con plástico blanco lechoso de calibre 720, que proporciona un 30% de sombra, y permite conservar una temperatura uniforme dentro del invernadero de 27°C en promedio durante el día y una humedad relativa del 47%.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, con 4 repeticiones en cada maceta, la unidad experimental consistió en un esqueje. Se generaron 20 tratamientos de la combinación de los dos factores, factor sustrato: tipos de sustratos Peat Moss Turba Rubia Sphagnum® (PM); mezcla de PM + perlita en relación 2:1 (V/V) (PMP); fibra de coco comercial (Power Forteco) (FC); mezcla de FC + perlita en relación 2:1 (V/V) (FCP); y mezcla de arena de río + tezontle en relación 1:1 (V/V) (AT) y el factor concentración de 24-EBL (0, 20, 40, 60 $\mu\text{g L}^{-1}$).

Preparación de la fitohormona

Las soluciones de 24-EBL a 20, 40 y 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ se obtuvieron mediante diluciones con agua destilada de una solución madre de 24-Epibrasinolido (24-EBL) a concentración de 0.01

g/L. Esta solución se preparó disolviendo 10 mg de 24-EBL (Sigma-Aldrich Epibrassinolide, $\geq 85\%$) en 1 mL de dimetilsulfóxido (DMSO), después se agregó 25 mL de agua bidestilada y 0.1% (V/V) de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) como surfactante, el volumen final se aforó a 1 L con agua bidestilada. Para la solución sin 24-EBL se añadieron las mismas concentraciones de dimetilsulfóxido (DMSO) y monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) a 1 L de agua.

Caracterización física y química de los sustratos

Los sustratos se desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio a 35 ppm y se lavaron tres veces con agua desionizada, se colocaron en recipientes de plástico negro de diseño cúbico con capacidad de 1 L. La conductividad eléctrica (CE) del sustrato se determinaron con el método de extracto de saturación (Vargas *et al.*, 2008). La concentración de N en los sustratos se realizó por el método de microKjeldahl. El P, K, Ca y Mg se determinaron después de digestión húmeda y se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica (Varian ICP -AES Plasma 96). Estos análisis se realizaron por triplicado en el laboratorio Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán (CIDAM) ubicado en la ciudad de Morelia Michoacán.

La densidad aparente (D_a) se determinó por el método de la probeta (Acosta *et al.*, 2014) y la densidad real (D_r) por picnometría de líquidos (Díaz *et al.*, 2012). A partir de dichas determinaciones se obtuvo la porosidad total del sustrato utilizando la ecuación $P_t (\%) = 100 (1 - D_a/D_r)$. La determinación de retención de humedad se realizó por el método de la columna colgante (Crespo *et al.*, 2018) y a partir de dicha medición se obtuvo porosidad de aire (P_a). Estas pruebas se hicieron en el Laboratorio de Nutrición Vegetal en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF).

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: porcentaje de supervivencia de esquejes, número de esquejes enraizados (aquellos que tenían una raíz principal de 2 mm de longitud), número de raíces por esqueje, longitud de raíz principal y longitud total del sistema radicular. Para analizar el sistema radicular se tomaron fotografías de los esquejes enraizados por cada tratamiento y las imágenes se procesaron con el software Root System Analyser - analysis of images and sequences of plant roots, de la Universidad de Viena (Leitner *et al.*, 2014). Los análisis se realizaron a los 30 días después (DDE) de que se estableció el experimento.

Análisis estadístico

De los datos obtenidos se realizó el análisis de varianza y en las variables con efecto significativo se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey en ambos análisis se utilizó a una probabilidad del 95% con el programa estadístico IBM SPSS® v26 2021.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los sustratos

Los sustratos utilizados en este trabajo presentaron las siguientes características: Turba (Peat-moss), es un sustrato con efectos de salinidad casi nulos (CE) de 0.5 dSm^{-1} , una alta concentración de N de 0.84 g/kg , bajo en P con 5.2 ppm , pobre en K con 15 ppm , pobre en Ca con 10 ppm y pobre en Mg 7 ppm , una alta retención de humedad de 64.5% , estos resultados son similares a los reportados por Gómez *et al* (2013).

La perlita no se caracterizó en este estudio, se tomaron los valores de referencia indicados en la ficha técnica del proveedor (Multiperl ® Hotyicola) la cual indica las siguientes características: roca silíceo volcánica expandida con un pH: 7, tiene un volumen total de poros del 95%, la densidad aproximada es $0,120 \text{ kg/l}$. Este sustrato tiene la funcionalidad de al ser un medio inerte, cualquier sustancia añadida al cultivo llega íntegramente, sin

variación, a la misma, así mismo es un medio que no se degrada y presenta un drenaje idóneo dado que no compacta.

Respecto a los resultados obtenidos para la mezcla de PMP es un sustrato con efectos de salinidad muy bajos (CE) de 0.1 dSm^{-1} , como mencionan Sánchez *et al.* (2008) una alta concentración de N de 1 g/kg , bajo en P con 4 ppm , muy bajo en K con 3 ppm , limitado en Ca con 3 ppm , una alta retención de humedad de 60% . La fibra de coco presentó una concentración media de N, alto contenido de P, muy alto en K, ligeramente alto en Ca y Mg resultados similares reportados por Pardo y Pardo (2008).

La mezcla de arena de río y tezontle, con efectos de salinidad casi nulos (CE), por tener un origen mineral presenta muy pobre contenido de materia orgánica en nutrimentos, tal como mencionan Luna *et al* (2021) esta mezcla es extremadamente bajo en N y P, muy alta en K, ligeramente alta en Ca y Mg. En cuanto a las características físicas de esta mezcla, presentó una alta densidad aparente, porcentaje de retención de agua del 43.3% .

Cuadro 1. Características químicas de los sustratos evaluados en el enraizamiento de esquejes de arándano azul.

Características químicas						
Sustrato	CE (dSm^{-1})	N Total	P	K	Ca	Mg
PM	0.5	0.84	5.2	15	10	7
PMP	0.1	1	4	3	3	2
FC	3.9	0.51	20	594	19	25
FCP	3	0.34	12.1	713	58	42
AT	2.7	0.61	6.9	698	49	28

PM: Peat Moss Turba Rubia Sphagnum®, PMP: mezcla de PM + perlita en relación 2:1 (V/V), FC: fibra de coco comercial (Power Forteco), FCP: mezcla de FC + perlita en

Cuadro 2. Características físicas de los sustratos evaluados en el enraizamiento de esquejes de arándano azul.

Características físicas					
Sustrato	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Densidad real (g cm ⁻³)	Retención de humedad (%)	Porosidad de aire (%)	Porosidad de agua (%)
PM	0.27	2.12	64.5	12.3	76.8
PMP	0.18	1.18	46.4	31.6	78
FC	0.24	2.18	58.2	13.5	71.7
FCP	0.21	2.45	51.7	26.5	58
AT	0.48	2.24	43.3	20.5	63.8

PM: Peat Moss Turba Rubia Sphagnum®, PMP: mezcla de PM + perlita en relación 2:1 (V/V), FC: fibra de coco comercial (Power Forteco), FCP: mezcla de FC + perlita en relación 2:1 (V/V), AT: mezcla de arena de río + tezontle en relación 1:1 (V/V). Datos tomados de Chávez-González et al. (2023).

Efecto del Sustrato

La capacidad de enraizamiento de los esquejes provenientes de plantas de ericáceas está limitada, debido a que el arándano tiene requisitos de nutrientes más bajos que la mayoría de los cultivos y prospera en suelos ácidos (pH de 4.5–5.5) con disponibilidad limitada de nutrientes esenciales como nitrato-nitrógeno (NO₃ -N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Braha y Rama, 2018). Al evaluar el efecto de la concentración de 24-EBL y el tipo de sustrato por separado y la interacción de los factores se encontraron diferencias significativas (P=0.05) en las variables evaluadas en esquejes de arándano (*Vaccinium corymbosum*) estos resultados se muestran en el Cuadro 3.

En el porcentaje de supervivencia de esquejes. La mezcla de AT tuvo la media más alta de 48.88%, el PM presento la media más baja de 16.84%, mientras que las mezclas de PMP y FCP no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), con estos resultados se observó el efecto que tiene la perlita en la mezcla de sustratos, estos resultados son similares a los estudios reportados por De Boodt y Verdonck, (1972) donde indican que los valores de la porosidad de aireación son mayores en la perlita con un 37.79 % es un valor que es considerado favorable, en esta investigación la mezcla de perlita y turba (Peat moss ®) tuvieron una aireación de 31.6 %.

Burés (1999) señalo que un intervalo óptimo de porosidad de aireación en un sustrato debe variar entre 20 a 30 %, los valores por debajo de 20 % pueden causar problemas de anoxia en las raíces de las plantas efecto que tal vez se pudo presentar en los tratamientos de PM y FC.

Por otro lado, los resultados obtenidos en la presente investigación respaldan la idoneidad del sustrato de fibra de coco para propagación de arándano como lo reportaron Machado et al., (2014) al estar mezclado con la perlita. Este sustrato no se recomienda utilizarlo al 100% debido a las características químicas de la fibra de coco, con altas concentraciones de K, Na y Cl, puede provocar estrés en las plantas y retrasar el enraizamiento tal como indico Abad *et al.*, (2002).

Cuadro 3. Porcentaje de supervivencia (%SE), porcentaje de enraizamiento (%ER), numero de raíces (NR), longitud de raíz primaria (LRP), longitud total de raíces (LTR) esquejes de arándano azul (*V. corymbosum*) variedad Biloxi por sustrato, concentración de brasinoesteroide y la interacción de los factores.

Tratamiento	Variable				
	%SE	% ER	NR	LRP (mm)	LTR (mm)
Sustrato					
PM	16.84 ^d	13.48 ^d	1.29 ^c	2.72 ^d	6.30 ^d
PMP	27.18 ^c	25.08 ^b	2.64 ^b	3.32 ^c	6.57 ^d
FC	28.42 ^c	21.74 ^c	1.96 ^c	3.79 ^c	7.06 ^c
FCP	33.25 ^b	26.52 ^b	2.76 ^b	4.82 ^b	8.56 ^b
AT	48.88 ^a	39.11 ^a	4.29 ^a	6.06 ^a	10.98 ^a
Brasinólido ($\mu\text{g L}^{-1}$ 24-EBL)					
0	5.11 ^d	4.35 ^d	1.02 ^d	2.76 ^{cd}	7.15 ^d
20	19.75 ^c	15.21 ^c	2.94 ^c	3.90 ^c	7.50 ^c
40	44.05 ^b	36.12 ^b	4.06 ^b	5.25 ^b	8.05 ^b
60	54.75 ^a	44.32 ^a	6.36 ^a	7.65 ^a	8.89 ^a
Interacción (sustrato*brasinólido)					
PM * 0.0	10.97 ^c	1.3 ^d	1.27 ^d	1.09 ^c	3.91 ^d
PM * 20	13.25 ^c	14.38 ^d	1.98 ^d	2.61 ^b	6.21 ^c
PM * 40	23.75 ^b	19.00 ^{bc}	2.96 ^{bc}	2.81 ^b	6.44 ^c
PM * 60	28.51 ^b	23.18 ^{bc}	2.73 ^c	2.97 ^b	6.67 ^c
PMP * 0.0	2.80 ^c	2.24 ^d	1.92 ^d	1.19 ^c	4.33 ^c
PMP * 20	15.50 ^c	12.4 ^d	2.97 ^{bc}	3.5 ^b	6.09 ^c
PMP * 40	40.39 ^b	32.32 ^b	2.98 ^{bc}	4.09 ^b	7.15 ^c
PMP * 60	50.00 ^b	40.44 ^b	3.4 ^b	4.4 ^b	7.75 ^{bc}
FC * 0.0	4.00 ^c	4.03 ^d	1.13 ^d	1.17 ^c	3.74 ^d
FC * 20	15.80 ^c	13.06 ^d	3.06 ^b	3.21 ^b	6.91 ^c
FC * 40	42.30 ^b	38.58 ^b	3.14 ^b	3.41 ^b	7.13 ^c
FC * 60	52.60 ^b	44.66 ^b	3.22 ^b	3.51 ^b	7.47 ^{bc}
FCP * 0.0	7.00 ^c	5.28 ^d	1.16 ^d	1.67 ^c	8.24 ^b

FCP * 20	18.20 ^{bc}	14.56 ^c	3.26 ^b	4.71 ^b	8.41 ^b
FCP * 40	50.10 ^b	40.08 ^b	3.99 ^b	4.91 ^b	8.63 ^b
FCP * 60	57.70 ^b	56.16 ^a	3.77 ^b	6.01 ^a	8.97 ^b
AT * 0.0	11.10 ^c	8.92 ^c	1.87 ^d	1.31 ^c	6.56 ^c
AT * 20	36.00 ^b	28.8 ^b	3.56 ^b	5.50 ^{ab}	8.86 ^b
AT * 40	63.21 ^b	50.96 ^a	3.79 ^b	6.05 ^a	10.91 ^{ab}
AT * 60	84.57 ^a	67.76 ^a	4.89 ^a	7.39 ^a	11.59 ^a
Significancia					
Sustrato	0.003 *	0.021 *	0.015 *	0.002 *	0.001 *
24-EBL	0.029 *	0.042 *	0.013 *	0.009 *	0.003 *
Interacción					
Sustrato X 24-EBL	0.001*	0.040 *	0.025*	0.005 *	0.008 *

Sustratos: Peat Moss Turba Rubia Sphagnum ® (PM), mezcla de Peat Moss Turba Rubia Sphagnum ® y perlita en relación 2:1 (V/V) (PMP), fibra de coco comercial (Power Forteco) (FC), una mezcla de fibra de coco comercial (Power Forteco) y de perlita en relación 2:1 (V/V) (FCP) y una mezcla de arena de río y tezontle en relación 1:1 (V/V) (AT). 24-EBL= 24 epibrasinolide. Tukey utilizado para comparar las diferencias en las medias; significancia en p=0.05. NS, no significativo, * significativo. Las medias en la misma columna seguida de la misma letra de superíndice no son significativamente diferentes. Datos tomados de Chávez-González et al. (2023).

El efecto de la interacción de los factores en el enraizamiento de esquejes se observó al día 30, la mayoría de los trabajos reportaron que el enraizamiento de los esquejes de arándano se presenta en un tiempo de 55 a 60 días, con un porcentaje de éxito de 40 a 52% (Castro y Guzmán, 2013). Pego *et al.*, (2019) reportaron que algunas especies de ericácea enraízan mejor en mezcla de turba y arena río, sin embargo, con los resultados obtenidos en el presente trabajo, la mezcla de arena de río y tezontle presento buenas propiedades fisicoquímicas para el enraizamiento de arándano, esta mezcla mantiene una ventilación adecuada en el entorno de enraizamiento.

Efecto del brasinoesteroide 24-EBL

Cuando se analizó el efecto del 24-EBL, sobre el porcentaje de supervivencia de esquejes, se observó un efecto significativo de este factor dependiendo de la concentración, cuando los esquejes se trataron a 60 µg L⁻¹ esta variable fue de 54.75% mientras que con 0 µg L⁻¹

solo el 5.11%. Los tratamientos de AT con 20 y 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ presentaron un 36% y 63.7% respectivamente.

Respecto al porcentaje de esquejes enraizados y al número de raíces por esqueje, la concentración del brasinólido fue un factor significativo ($P=0.042$ y $P=0.013$ respectivamente). Cuando se utilizó una concentración de 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ 24- EBL el porcentaje de enraizamiento fue del 67% en la mezcla AT, en esta misma mezcla con 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ enraizaron 60% de los esquejes, mientras que con la concentración de 20 $\mu\text{g L}^{-1}$ enraizó el 28% de los esquejes y sin el brasinólido solamente enraizaron 8% (Cuadro 3).

Estos resultados son similares a los que presentaron Ahammed *et al.*, (2017) en *Arabidopsis* donde se observó el efecto de los brasinólidos como productos bioactivos que potencializan e inducen mecanismos fisiológicos tempranos gracias a receptores intermembrana denominados *BRASSINOSTEROID INSENSITIVE1 (BRI1)*, *BRI1-LIKE 1 (BRL1)* y *BRL3*. El *BRI1* se une a brasinolida (BL), la forma más activa de brasinólidos y conlleva a la activación del receptor *BRL1* mediada por ligando que da como resultado eventos de transfosforilación, que también involucran correceptores, como *BRI1 ASSOCIATED KINASE1 (BAK1)* (Ayub *et al.*, 2020), nuestros resultados indican que los esquejes de arándano azul variedad Biloxi, tienen estos receptores y que al estar en presencia de 24-EBL, estos se activan desencadenando cascadas de señalizaciones que inducen la formación de tejido radicular. Se observó que la concentración de 24-EBL y el número de raíces presentan una relación directa, a mayor concentración de 24-EBL el número y la longitud de raíces aumenta (Cuadro 3). Se sabe que la aplicación exógena de diferentes análogos de brasinólidos se emplea para el mejoramiento de la germinación de semillas e inducir la promoción del crecimiento de hipocótilos, cotiledones, láminas de las hojas, elongación de raíz principal y laterales (Hussain *et al.*, 2020), sin embargo, hasta el momento no se habían utilizado como agentes inductores de raíces en esquejes de arándano

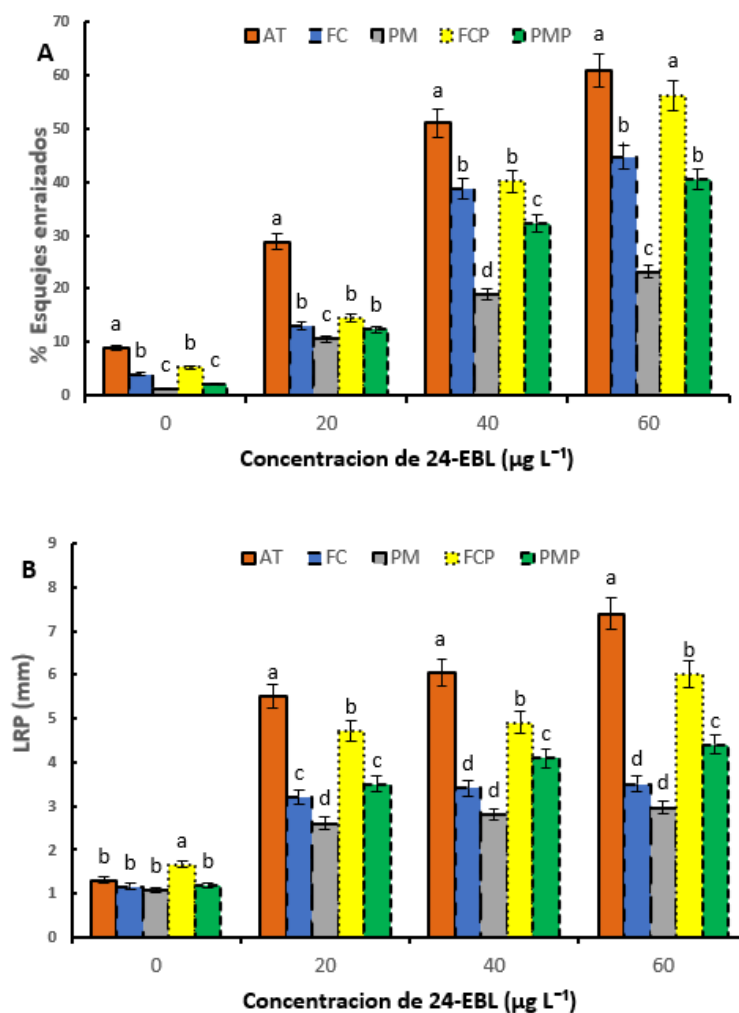


Figura 1. A) Porcentaje de esquejes enraizados y B) longitud de raíz principal (LRP) de arándano azul, propagados en distintos sustratos y tratados con 24-EBL.

Sustratos: Peat Moss Turba Rubia Sphagnum® (PM), mezcla de Peat Moss Turba Rubia Sphagnum® y perlita en relación 2:1 (PMP), fibra de coco c (Power Forteco) (FC), mezcla de fibra de coco (Power Forteco) y de perlita en relación 2:1 (FCP) y una mezcla de arena de río y tezontle en relación 1:1 (V/V) (AT). Columnas con diferentes letras indican diferencias significativas (Tukey $P < 0.05$). Medias $\pm$ error estándar. **Datos tomados de Chávez-González et al. (2023).**

La combinación de la concentración de 40 $\mu\text{g L}^{-1}$ con los sustratos FCP y FC no presentaron diferencias significativas. A una concentración de 20 $\mu\text{g L}^{-1}$ los sustratos FC, PM, FCP y PMP no presentaron diferencias significativas y mostraron valores del 50% al 34% menos con respecto al tratamiento de AT. (Figuras 1 A, B).

Mouchel *et al.* (2006) mencionan que existe un sinergismo entre los brasinólidos exógenos y otras fitohormonas de las plantas tales como las auxinas y el ABA (ácido abscísico) que son las encargadas de la inducción de raíces primarias. Específicamente el 24-EBL también regula el desarrollo de la raíz a través de una interacción con auxina de manera dependiente de la dosis (Sun *et al.*, 2020).

En este estudio, se determinó que Biloxi enraíza bien en sustrato de arena de río y tezontle (80%), es aceptable en mezclas de fibra de coco y perlita (50%), en turba (Peat moss) y perlita (52%). Para propagación por esquejes de arándano azul, no se recomienda la utilización de sustratos como la turba (Peat Moss) y la fibra de coco al 100%, se recomienda utilizarlos en mezcla con perlita o arena de río.

El enraizamiento de arándanos se realiza comúnmente en condiciones in vitro utilizando auxinas como inductor de raíces (Hung y Trueman, 2012). La presencia de 24-EBL resultó eficaz para la formación de raíces en esquejes de arándanos azul como se mostró en la investigación actual, utilizar un sustrato alternativo a los que se manejan frecuentemente para la propagación, disminuye costo mediante el enraizamiento directo de esquejes en condiciones no asépticas utilizando sustratos comerciales y soluciones de brasinólidos a bajas concentraciones.

CONCLUSIONES

La combinación de arena de río y tezontle con $60 \mu\text{g L}^{-1}$ del brasinólidos resulto ser el tratamiento con el mayor porcentaje de esquejes enraizados, número de raíces y longitud de raíces.

El uso de brasinólido 24-EBL es una buena herramienta biotecnológica para la inducción del sistema radicular en arándano azul (*Vaccinuym corymbosum*) variedad Biloxi.

Agradecimientos

Al CONACyT por otorgar la beca de manutención de los estudios de doctorado de la MC Judith Libertad Chávez González y a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

REFERENCIAS CITADAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capítulo 3

**Aspersión de 24-Epibrasinólido en plantas de arándano
(*Vaccinium corymbosum* L.) cultivadas con baja y alta
disponibilidad de Nitrógeno**

Aspersión de 24-Epibrasinólido en plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) cultivadas con baja y alta disponibilidad de Nitrógeno

RESUMEN

El arándano es un cultivo altamente rentable, principalmente por su sabor, contenido de nutrientes, de antioxidantes y otros valiosos compuestos fitoquímicos que lo hacen atractivo al consumidor. El consumo La ingesta de esta fruta exhibe efectos protectores contra trastornos vasculares y problemas inflamatorios. En la horticultura regularmente se utiliza la aplicación foliar de reguladores del crecimiento, para mejorar algunos atributos de calidad e incrementar la producción y la calidad del fruto. Entre estos reguladores destacan los Brasinoesteroides que son una clase de fitohormona que han mostrado una amplia gama de efectos sobre diferentes parámetros de crecimiento y desarrollo de las plantas. En el presente trabajo se realizó un experimento bifactorial, en plantas de arándano cultivadas en hidroponía, para evaluar el efecto de la aspersión foliar al inicio de la floración, de 24-Epibrassinolide (24-EBL) en cuatro concentraciones (0.00 μ M, 0.10 μ M, 0.15 μ M y 0.20 μ M) y el fertirriego con dos concentraciones de Nitrógeno (N) (amoniaco) en la solución nutritiva: 6.0 mM y 0.6 mM, La combinación de los niveles de los factores estudiados produjo ocho tratamientos, los cuales fueron repetidos cuatro veces generando 32 unidades experimentales (UE). Las UE se integraron con cuatro plantas cada una y se distribuyeron de forma completamente aleatoria. Las variables evaluadas fueron: la altura de la planta; el área foliar; la biomasa y el contenido de N en hojas, tallos y raíces; el intercambio gaseoso en hojas; así como el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en extractos de hojas. Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis de varianza de dos vías y pruebas de comparación de medias con el método de Tukey, ambos con un $P < 0.05$. Los resultados mostraron que los factores estudiados, así como la interacción de

estos produjeron efectos estadísticamente significativos sobre las variables evaluadas. En conclusión, la aplicación foliar de 24-EBL incrementó el crecimiento, el área foliar y la acumulación de biomasa de las plantas, así el intercambio de gases y el contenido de compuestos fenólicos de las hojas. Este efecto se observó en las plantas que fueron fertirrigadas con la solución nutritiva a 6.0 mM de N, pero en las que recibieron la solución de riego con 0.6 mM de N.

Palabras claves: 24-Epibrasinolido, Arándano, Nitrógeno, Hidroponía, Fertirriego.

INTRODUCCIÓN

Los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) son arbustos altos originarios de norte América (Osorio et al., 2020), en recientes fechas su cultivo se está desarrollando de forma exponencial en México, principalmente en regiones de Jalisco y Michoacán, con rendimientos que llegan a 37 toneladas por año (SADER, 2022). Según la FAO, Estados Unidos y Canadá tienen la mayor participación (33.19%) en la producción mundial de arándanos, seguida de Chile (27,5 %), México (25.1%) y Perú (18 %) (FAOSTAT 2022). Este arbusto produce bayas casi esféricas, de color azul oscuro y de sabor agradable para el consumidor (Strik et al., 2019). Se ha reportado que tanto las hojas como los frutos de esta planta, poseen un alto contenido de importantes compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante, entre estos destacan los ácidos fenólicos, las antocianinas y algunos flavonoides (Pervin et al., 2013). La síntesis de estos compuestos está ligada a condiciones ambientales que podrían inducir un estado de estrés a la planta, como la nutrición del cultivo (Bryla et al., 2015). En términos agronómicos, el nitrógeno (N) es el nutriente más importante para mantener el crecimiento vegetativo de la planta, el desarrollo de frutos, la inducción y la diferenciación de botones florales (Berezina et al., 2017). La fertilización nitrogenada, especialmente con N amoniacal (NH_4^+), durante los primeros años de

desarrollo de este cultivo, aumenta la concentración de N en las hojas, promueve la formación de un tallo primario robusto y permite altos rendimientos de fruto (Yáñez et al., 2015). Este nutrimento es un constituyente del aparato fotosintético, del metabolismo para la síntesis de enzimas, proteínas y pigmentos en hojas y frutos; su deficiencia o exceso puede afectar negativamente en el metabolismo primario y secundario de la planta (Arrington et al., 2017). Cuando se inducen estadios de crecimiento con deficiencia de N dan como resultado una disminución del contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila y carotenoides), lo que reduce el rendimiento fotosintético, particularmente la asimilación de CO₂ (Percival, D. y Sanderson, K., 2005). Cabe señalar que la disponibilidad de N también puede afectar la biosíntesis de algunos aminoácidos aromáticos como la fenilalanina, la tirosina y el triptófano, que son sustratos para la síntesis de compuestos fenólicos, que pueden participar en respuestas antioxidantes. Las plantas que crecen con un alto suministro de N generalmente tienen niveles reducidos de compuestos fenólicos, ya que el N disponible se dirige hacia la síntesis de aminoácidos y proteínas. Por el contrario, las plantas que crecen en condiciones de deficiencia de este elemento presentan una mayor asignación de recursos de carbono hacia la producción de compuestos fenólicos (Merhaut, D. J., y Darnell, R. L., 1996).

Por otro lado, se sabe que la aplicación de fitohormonas induce cambios en la regulación de diferentes procesos bioquímicos a nivel celular en las plantas y puede estimular el crecimiento, la producción y la calidad de los frutos; así como la absorción y el uso eficiente del N, en algunos cultivos hortícolas como arándano (Ali et al., 2017). Entre las fitohormonas conocidas hasta el momento destacan los brasinoesteroides (BR), considerados como el sexto grupo importante de fitohormonas, que se consideran esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Zheng et al., 2018). Estos compuestos, derivados de oxisteroides, participan en la inducción de mecanismos de defensa contra diversos

estreses bióticos y abióticos, como el estrés hídrico, estrés térmico, estrés oxidativo y estrés por alta salinidad (Yue et al., 2019). Además, los BR son fitohormonas no tóxicas que actúan junto con otras fitohormonas como las auxinas, el ácido jasmónico, el ácido abscísico, el ácido salicílico, las citoquininas, el etileno, las giberelinas y las poliaminas para regular varios procesos fisiológicos y actividades de desarrollo en las plantas (Vidya et al. 2017). Desde su descubrimiento en la década de los 70s y hasta el momento se han aislado más de 70 BR de diferentes especies de plantas, de las cuales, solo tres, la Brassinolida (BL), la 24-epibrassinolide (24-EBL) y la 28-homobrassinolide (28-HBR) son los que han presentado formas activas y se han utilizan ampliamente en estudios fisiológicos en diferentes plantas hortícolas (Dos Santos et al., 2020).

Se ha informado que los BR tienen un efecto directo sobre algunos procesos fisiológicos cuando hay privación o baja disponibilidad de algún nutriente como el N (Gupta et al., 2017). Sin embargo, no se conoce el efecto de 24-EBL sobre el crecimiento, la fisiología y la concentración de compuestos fitoquímicos en hojas de arándano bajo estrés por baja disponibilidad de N. Por lo tanto, este experimento se enfoca en el estudio del efecto de la aplicación foliar de diferentes concentraciones de 24-EBL sobre el crecimiento de la planta, algunos parámetros fisiológicos y el contenido químico de hojas de plantas de arándano cultivadas en sistema hidropónico, nutridas con dos concentraciones de N en forma amoniacal, administrado por fertirriego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

Del 4 de enero del 2019 a 4 agosto del 2020 se instaló un experimento en un invernadero tipo techumbre curva, cubierto con plástico blanco lechoso de calibre 720, que proporciona un 30% de sombra y permite una temperatura al interior de 27 °C en promedio durante el

día y una humedad relativa del 47%. El invernadero está ubicado en Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), en el kilómetro 9.5 de la Carretera Morelia Zinapécuaro, CP. 58880, en Tarímbaro, Michoacán. Con coordenadas geográficas: 19.7681622-101.1513041 y elevación 1860 m.

Material vegetal

Se usaron plantas de arándano azul (*V. corymbosum* L.) variedad Biloxi de 6 meses de edad, provenientes del invernadero comercial Marpa ©. Las plantas se homogenizaron dejando un solo tallo de 15 cm con cinco yemas y se trasplantaron a un sistema hidropónico. Se establecieron en contenedores plásticos con 20 L de capacidad, en un sustrato compuesto por una mezcla de arena de río y tezontle en relación (2:1 V/V).

El experimento se estableció usando un diseño bifactorial y los factores estudiados fueron: Concentración de N en la solución de riego, con dos niveles: 6.0 mM y 0.6 mM; y la aplicación foliar de 24-EBL a cuatro concentraciones: 0.0 µM, 0.10 µM, 0.15 µM y 0.20 µM. La combinación de estos factores originó 8 tratamientos, los cuales fueron repetidos 4 veces, generando 32 unidades experimentales (UE). Las UE se integraron 4 plantas cada una y se distribuyeron de forma completamente aleatoria.

Fertirriego

Las plantas se mantuvieron irrigadas con un sistema de riego automático por goteo que consistió en dos depósitos con capacidad de 700 L y bombas eléctricas de 1/2 hp (IUSA MODELO: 616289). Las soluciones se suministraron utilizando mangueras de 16 mm y goteros de 8 Lph (litros por hora). El riego se realizó con pulsos de cuatro minutos cada 12

horas (a las 8:30 y 20:30 hrs), con un gasto real de 0.5 L por planta por riego, con un gasto de 1.0 L de solución nutritiva por planta por día. Se utilizaron dos soluciones nutritivas completas y ambas tenían: N en forma de NH_4^+ , CE de 1.8 mS cm^{-1} y pH ajustado a 4.5 - 5.0 con ácido sulfúrico (14 N), una carga iónica total de 16 Meq^{-1} , 1.0 Meq^{-1} de H_2PO_4^+ y una proporción de K^+ Ca^{++} Mg^{++} de 25%, 50% y 25% respectivamente, se modificó la proporción de aniones en función de los tratamientos aplicados. La concentración de microelementos fue la siguiente: H_3BO_3 , $42.0 \text{ }\mu\text{M}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $1.0 \text{ }\mu\text{M}$; Fe-EDTA, $15.0 \text{ }\mu\text{M}$; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $23.0 \text{ }\mu\text{M}$; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $0.3 \text{ }\mu\text{M}$ y $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $6.0 \text{ }\mu\text{M}$. Las condiciones de fertirriego se mantuvieron durante todo el experimento (550 días).

Preparación y aplicación de las soluciones de 24-EBL

Para la preparación de la solución madre de 24-EBL, se disolvieron 10 mg (4.87 mM) de 24-EBL (85% de pureza, Sigma Aldrich) en una solución tensoactiva que contenía 0.01 L de etanol al 96% y 0.01 L de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) al 0.1% (v/v), una vez disuelto el soluto, la solución se aforó con agua destilada a volumen de 1 L. Las soluciones de trabajo se prepararon a partir de la solución madre a cuatro concentraciones a $0.10 \text{ }\mu\text{M}$, $0.15 \text{ }\mu\text{M}$, $0.20 \text{ }\mu\text{M}$, y para la solución a $0.0 \text{ }\mu\text{M}$ se preparó una solución con 0.01 L de etanol al 96% y 0.01 L de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) al 0.1 % (v/v), la solución se aforó a 1 L con agua destilada (la solución $0.0 \text{ }\mu\text{M}$ no contenía soluto). Estas soluciones se almacenaron en refrigeración de $2 \text{ }^\circ\text{C}$ a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, en botellas de vidrio color ámbar que se forraron con papel aluminio para proteger la solución de la luz.

A los 7 días después de iniciada la etapa de la segunda floración, 150 días después de establecido el experimento (DDE, el día uno del experimento corresponde al inicio de los tratamientos nutritivos en el fertirriego, con las soluciones a 0.6 mM y 6.0 mM de N), las

plantas fueron asperjadas con 0.015 L de solución de 24-EBL a 0.00 μM , 0.10 μM , 0.15 μM , 0.20 μM , de acuerdo al tratamiento correspondiente. La aspersión de brasinoesteroide se repitió en cada floración durante todo el experimento (total 8 aplicaciones).

Variables evaluadas

Muestreos no destructivos:

Se realizaron mediciones no destructivas, con una frecuencia de 15 días para determinar:

Altura de la planta, se utilizó con un flexómetro (Truper, modelo: FH-3M) a partir de donde se identificó la primera yema vegetativa viable, hasta el ápice de la planta,

- **Número de hojas por tallo.**
- **Número de tallos por planta.**
- **Número de flores por tallo.**

Intercambio gaseoso. Se midió la tasa de asimilación neta de CO_2 (P_n), la concentración de CO_2 (C_i), la conductancia estomática (G_s), la tasa de transpiración (E) con un sistema de fotosíntesis portátil (Li-6400; LI-COR Inc. EEUU). De cada planta de las diferentes unidades experimentales, se seleccionó al azar una hoja madura completamente expandida para realizar mediciones de intercambio de gases en la hoja (P_n , C_i , G_s y E), a concentración de 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 y saturación de luz a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La medición se realizó 24 h antes y después de la aplicación del brasinoesteroide, dentro del invernadero en el horario entre las 7-9 am.

Muestreos destructivos:

Se realizó un muestreo destructivo en los días 180, 240, 300 y 360 DDE, para estos muestreos se tomó una planta al azar de cada unidad experimental para medir las siguientes variables:

Área Foliar: Se determinó en una planta de cada unidad experimental que seleccionó para nuestro destructivo y se midió en un planímetro electrónico digital (Li-cor21 2001, LICOR, Licoan NE).

Biomasa de tejido vegetal: se tomó una planta de cada unidad experimental y se retiró de la maceta se limpió el sustrato de las raíces y posteriormente se segmentaron los diferentes órganos de las de la planta colocando en bolsas de papel hojas, tallos y raíces. El material vegetal se pesó en fresco y se seleccionaron muestras de hoja frescas para realizar la extracción de compuestos fitoquímicos y pigmentos esta muestra se reservó para su posterior análisis, el resto del material se secó en un horno a 65 °C durante 48 horas, la biomasa se pesó en una balanza electrónica de precisión (Mettler Toledo, PR8002). Para determinar la biomasa seca total, se realizó una corrección para estimar la masa del material que se procesó en fresco y se consideró todo el material vegetal.

Contenido de N: Se tomaron 5 gr de muestra de tejido vegetal seco de cada órgano de la planta, hojas, tallos y raíces, posteriormente se analizó por el método Kjeldahl descrito por Sadzawka et al. (2004).

El contenido de clorofilas α y β : Se seleccionó una muestra de hojas frescas y se preparó un extracto con DMSO al 80% como solvente, el cálculo de clorofila se realizó utilizando las fórmulas de Holm y Wettstein según el método descrito por Ronen R y Galun M (1984). La clorofila se midió por método espectrofotométrico (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), con la absorbancia a 440.5, 644 y 662 nm.

Para la determinación de compuestos fitoquímicos y actividad antioxidante, se obtuvo un extracto de hojas, se tomó una cantidad de 5 g de muestra de hojas frescas, que se liofilizaron en un equipo liofilizador Labconco™ FreeZone™ -105°C 4.5L Benchtop Freeze Dry Systems, posteriormente se realizó una molienda con nitrógeno líquido, la muestra se mezcló con 5 ml de etanol al 70% v / v en agua. La mezcla se expuso durante 1 min en el vórtice (Heidolph Reax top) y 30 min en un baño ultrasónico a 20 °C. Posteriormente, las muestras se centrifugaron durante 15 min a 10.000 rpm. El sobrenadante se filtró mediante un filtro de nailon (Chromafil Xtra PA-45/13, Macherey-Nagel, Düren, Alemania) y se almacenó a temperatura de congelación (-70 °C) hasta su posterior análisis.

Determinación de fenoles totales en hojas. El contenido total de compuestos fenólicos de los extractos de hojas se determinó utilizando el método descrito por Singleton y Rossi, (1965). Se añadió reactivo de Folin-Ciocalteu (100 µl) y carbonato de sodio saturado (200 µl) a un volumen de 100 µl del extracto. Se agregaron 1.5 mL de agua destilada y se mezcló completamente. La mezcla se colocó en la oscuridad durante 35 min a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 4000 rpm durante 10 min. La absorbancia se leyó a 725 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). El contenido fenólico total se midió usando ácido gálico como estándar y se registró en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de hojas.

Determinación de Flavonoides Totales. El contenido total de flavonoides se midió utilizando el método propuesto por Zhishen et al. (1999). Se añadió 500 µl de extracto y solución estándar de catequina a 2 ml de agua destilada y 150 µl de nitrito de sodio al 5 % (peso/vol). Después de 5 min se añadieron 150 µl de cloruro de aluminio (AlCl₃) al 10 % (peso/vol), seguidos de 1 ml de solución de hidróxido de sodio 1 M. La mezcla se diluyó con la adición de 1.2 ml de agua destilada y la absorbancia de la mezcla (cuando viro a color rosa) se determinó a 510 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). La

concentración de flavonoides totales de las hojas se expresó en miligramos de equivalentes de catequina por gramo de hojas.

Determinación del contenido de Taninos condensados (Proantocianidina). El contenido de taninos condensados se determinó utilizando el método de vainillina descrito por Butler et al, (1982). Se añadió reactivo de vainillina-HCl al 0.5 % (2.5 ml) a 0.5 ml de extracto diluido y solución estándar de catequina, se mezcló completamente y se incubó a 30 °C en la oscuridad durante 20 min. La absorbancia se leyó a 500 nm. El contenido de taninos condensados se expresó en miligramos de equivalentes de catequina por gramo de peso seco de hojas.

Actividad antioxidante de extracto de hojas. Esta variable se evaluó usando dos métodos, el método ABTS y el método DPPH, los cuales se describen a continuación.

El método ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se basa en la desactivación del catión radical antioxidante ABTS⁺, que se mide por la disminución de la absorbancia a 734 nm. El método ABTS El método se realizó según lo descrito por Re et al (1999). La absorbancia se leyó a 734 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), 7 minutos después de la adición del extracto. La actividad antioxidante total de las hojas, se expresó en $\mu\text{Mol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de TEAC (capacidad antioxidante equivalente a Trolox). El radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es uno de los pocos compuestos nitrogenados orgánicos estables y comercialmente disponibles. El método se basa en la desactivación del radical DPPH por compuestos con propiedades antioxidantes presentes en extractos de frutas y esta desactivación se monitoriza a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). El método DPPH se llevó a cabo según lo descrito por Kim et al. (2002). Se evaluó la disminución de la absorbancia del radical DPPH 100 μM (2.9 mL) disuelto en metanol al 80% a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer

Lambda 25 UV/Visible), 30 minutos después de la adición de cada extracto. La actividad antioxidante total de las hojas, también se expresó en $\mu\text{Mol.100 g}^{-1}$ de TEAC.

Análisis estadístico

Todas las determinaciones químicas se realizaron por triplicado y los resultados fueron expresado como valores medios y error estándar (SE). Los resultados obtenidos se analizaron utilizando ANOVA de dos vías seguido de Tukey, basada en un nivel de confianza del 95% ($P \leq 0.05$), con el Software SPSS V.26 (SPSS-IBM, Orchard Road-Armonk, Nueva York).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que la concentración de N en la solución de fertirriego generó efectos estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en las variables asociadas al crecimiento de la planta: altura de la planta, área foliar, número de tallo por planta, número de hojas por tallo, número de flores por tallo y biomasa total, en todas las fechas de muestreo. Las plantas que recibieron soluciones de riego con la concentración más alta de N (6.0 mM) mostrando valores mayores desde la primera fecha de muestreo, en las variables antes mencionadas, por lo que es evidente que las plantas fertirrigadas con soluciones nutritivas con 0.6 mM de N se encontraban en un estado de estrés por restricción de este elemento (Tabla 1). El efecto de la concentración de N en la solución de riego generó efectos estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) sobre la proporción de la biomasa de las hojas y de las raíces. En el primer caso este efecto se presentó en las últimas dos fechas de muestreo, en las cuales se observó un incremento en la proporción de la biomasa foliar en las plantas irrigadas con 6.0 mM de N en la solución nutritiva. Inversamente, la proporción de la biomasa de las raíces mostró un incremento en las dos primeras fechas de muestreo en las plantas que recibieron las soluciones nutritivas con 0.6 mM de N (Tabla

1). La proporción de la biomasa de los tallos no presentó ningún efecto de la concentración de N en la solución de riego, en ninguna fecha de muestreo. La aspersión foliar de 24-EBL también produjo efectos estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en las variables: altura de la planta, área foliar, número de tallos por planta, número de hojas por tallo, número de flores por tallo y biomasa total, en todas las fechas de muestreo. Las plantas que recibieron 24-EBL presentaron valores mayores en las variables antes mencionadas que las que no lo recibieron. En todas estas variables y fechas de muestreo la aspersión foliar 24-EBL a la concentración de 0.20 μM generó los mayores valores (Tabla 1). Los resultados mostraron que la interacción de ambos factores fue significativa ($P \leq 0.05$) en las cuatro fechas de muestreo para las variables altura de la planta y área foliar, así como en las tres últimas fechas de muestreo para las variables número de tallos por planta, número de hojas por tallo, número de flores por tallo y biomasa total; lo que significa que en estas variables y fechas de muestreo el efecto de la aplicación del 24-EBL depende de la nutrición nitrogenada de la planta, es decir de los tratamientos de fertirriego con 6.0 mM o 0.6 mM de N en la solución nutritiva. Los valores más altos en estas variables se observaron en las plantas del tratamiento N 6.0 mM + 0.20 μM de 24-EBL, en los diferentes muestreos realizados. Además, no se observaron efectos significativos en la interacción de los factores estudiados, sobre la proporción de la biomasa de los órganos de la planta, en ninguna de las fechas de muestreo.

La concentración de N en la solución nutritiva produjo efectos estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) sobre la acumulación de N en la biomasa de la planta. Las raíces, los tallos, las hojas y consecuentemente la planta entera, presentaron un mayor contenido de N en el tratamiento de 6.0 mM de N en la solución de riego, en todas las fechas de muestreo. De igual forma, la aspersión foliar de 24-EBL incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) la acumulación de N en la biomasa de la planta en todas las fechas de muestreo. La

materia seca de las raíces, los tallos, las hojas y la planta entera presentaron un mayor contenido de N cuando recibieron la aspersión de 24-EBL y los valores más altos se observaron en las plantas asperjadas con la concentración de 0.20 μM de 24-EBL. La interacción de la concentración de N en la solución de riego y la aspersión con 24-EBL resultó estadísticamente significativa sobre el contenido de N en los órganos de la planta y la planta entera, en las tres últimas fechas de muestreo ($P \leq 0.05$), lo que significa que, en estas fechas de muestreo, el efecto de la aplicación del 24-EBL en la biomasa vegetal depende de la nutrición nitrogenada de la planta. El tratamiento que presentó la mayor acumulación de N en la biomasa fue 0.20 μM de 24-EBL + 6.0 mM de N (Tabla 2).

El análisis de los resultados asociados al intercambio gaseoso muestra que los dos factores estudiados: la concentración de N en la solución de riego y la aspersión foliar de 24-EBL, generaron efectos estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) sobre la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia estomática en todas las fechas de muestreo. Las plantas que recibieron soluciones nutritivas con 6.0 mM de N presentaron valores superiores en estas variables, comparadas con las que fueron irrigadas con soluciones con 0.6 mM de N. De igual forma, las plantas que recibieron la aspersión foliar con 24-EBL incrementaron los valores de estas variables. Específicamente, las plantas que fueron asperjadas con la concentración de 0.20 μM de 24-EBL fueron las que presentaron los valores más altos en las tres variables. Al analizar la interacción de la concentración de N en la solución de riego y la concentración de 24-EBL en la solución de aspersión, se observan efectos estadísticamente significativos en las tres variables y en la mayoría de las fechas de muestreo. Estos resultados sugieren que el efecto de la aspersión foliar de 24-EBL sobre el intercambio de gases depende de la nutrición nitrogenada de las plantas (Tabla 3). Los valores más altos de estas variables se observaron en las plantas que fueron cultivadas con 6.0 mM de N en la solución de riego y asperjadas con 0.20 μM de 24-EBL.

La concentración de N en la solución de riego y la aspersión foliar de 24-EBL generaron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) sobre los contenidos foliares de clorofilas (α , β y $\alpha+\beta$), fenoles totales, flavonoides y taninos, así como en la actividad antioxidante (DPPH), en las hojas de arándano en la mayoría de las fechas de muestreo (Tabla 4). En todas las fechas de muestreo, el contenido de clorofilas y de fenoles totales fue superior en las hojas de las plantas irrigadas con soluciones nutritivas con 6.0 mM de N. El mismo efecto se observó en el contenido de taninos y en la actividad antioxidante (DPPH), con excepciones de la primera y la segunda fecha de muestreo, respectivamente, en donde las plantas que recibieron 0.6 mM de N mostraron valores superiores. El contenido de clorofilas, fenoles totales, taninos y la actividad antioxidante, también se incrementaron en las plantas que fueron asperjadas con 24-EBL y las que recibieron 0.20 μ M de esta hormona presentaron los mayores valores en estas variables. La interacción entre de la concentración de N en la solución de riego y la aspersión foliar de 24-EBL fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en estas variables, en todas las fechas de muestreo, lo que sugiere que el efecto del 24-EBL depende de la nutrición nitrogenada de la planta. Los mayores valores se observaron en las plantas del tratamiento de 6.0 mM de N en la solución de riego y aspersión de 24-EBL a 0.20 μ M. Contrariamente a las variables anteriores, en las cuatro fechas de muestreo, el contenido de flavonoides totales fue menor en las hojas de las plantas que recibieron 6.0 mM de N; sin embargo, al igual que las variables anteriores, el contenido de estas sustancias se incrementó con la aspersión foliar de 24-EBL, mostrando los valores más altos en las plantas que recibieron foliarmente 0.20 μ M de esta hormona. La interacción de la concentración de N en la solución nutritiva y la aspersión de 24-EBL también fue estadísticamente significativa en todas las fechas de muestreo, indicando que el efecto de la aspersión de 24-EBL depende de la condición N de las plantas. Los contenidos más altos de flavonoides se observaron en las plantas

irrigadas con 0.6 mM de N y asperjadas con 0.20 μM de 24-EBL.

Tabla 1. Efecto de la concentración de N en la solución de riego y de la aspersión foliar de 24-EBL sobre el crecimiento de plantas de arándano (*V. corymbosum* L.).

	Altura planta	Área foliar	Tallos	Hojas	Flores	Biomasa seca			
	Cm	cm ²	planta ⁻¹	tallo ⁻¹	tallo ⁻¹	(g plata ⁻¹)	hojas (%)	tallos (%)	raíces (%)
180 días									
N	**	*	**	**	**	**	NS	NS	*
0.6 mM	45.22 c	5.68 c	2.44 c	3.42 c	31.89 c	155.21 b	30.32 a	20.40 a	49.28 a
6.0 mM	75.72 a	14.87 b	19.13 ab	8.81 b	69.46 b	422.39 a	29.40 a	24.71 a	45.90 b
24-EBL	*	*	**	**	**	**	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	60.45 b	10.21 b	10.26 b	6.11 b	50.67 b	330.80 c	29.86 b	22.55 b	47.59 b
24-EBL 0.10 μM	75.80 a	16.21 a	21.64 a	9.65 ab	79.48 a	506.31 b	30.53 a	23.84 a	45.63 a
24-EBL 0.15 μM	80.43 a	17.99 a	21.63 a	10.73 ab	77.62 a	567.28 a	26.01 a	27.27 a	46.08 a
24-EBL 0.20 μM	85.34 a	17.61 a	21.54 a	12.92 a	76.28 a	575.53 a	32.55 a	21.55 a	45.95 a
N X 24-EBL	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
240 días									
N	**	*	**	**	**	**	NS	NS	*
0.6 mM	46.24 c	7.40 c	4.44 c	6.42 c	26.14 c	167.21 b	24.30 a	19.10 a	56.60 a
6.0 mM	99.13 b	15.07 b	25.33 b	10.81 b	82.61 b	433.29 a	31.83 a	27.43 a	40.75 b
24-EBL	*	*	**	**	**	**	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	72.67 c	11.21 b	14.88 b	8.61 b	54.37 b	300.25 d	28.06 b	23.25 b	48.68 b
24-EBL 0.10 μM	102.72 b	18.31 a	29.64 a	12.92 ab	98.45 a	498.45 c	34.37 a	21.22 a	44.01 a
24-EBL 0.15 μM	102.91 b	18.54 a	28.63 a	14.32 a	106.13 a	566.76 b	38.40 a	20.21 a	41.39 a
24-EBL 0.20 μM	111.64 a	18.75 a	28.54 a	14.98 a	111.02 a	601.34 a	38.56 a	19.31 a	42.13 a
N X 24-EBL	*	*	*	*	*	*	NS	NS	NS
300 días									
N	**	*	*	*	*	*	**	NS	NS
0.6 mM	48.23 d	7.88 c	12.42 c	12.85 c	28.19 c	169.56 b	26.00 b	24.40 a	49.60 a
6.0 mM	112.7 c	16.07 b	31.81 b	19.83 b	79.46 b	433.62 a	33.36 a	24.77 a	41.87 a
24-EBL	*	*	*	**	**	**	**	*	*
24-EBL 0.00 μM	80.45 c	11.97 b	22.11 b	16.34 b	53.83 b	301.59 d	29.69 b	24.58 a	45.73 a
24-EBL 0.10 μM	128.83 b	18.83 a	41.65 a	19.35 a	103.81 a	534.76 c	40.04 a	19.84 b	40.12 b
24-EBL 0.15 μM	130.42 ab	19.00 a	43.73 a	19.71 a	110.23 a	577.06 b	35.64 a	18.27 b	46.09 a
24-EBL 0.20 μM	142.31 a	20.40 a	42.92 a	18.12 a	113.51 a	620.30 a	37.55 a	18.55 b	43.95 b
N X 24-EBL	**	*	**	**	**	**	NS	NS	NS
360 días									
N	**	*	**	*	*	**	*	NS	NS
0.6 mM	48.24 c	8.70 c	13.14 c	8.42 c	31.89 c	147.68 b	24.00 b	27.40 a	48.60 a
6.0 mM	118.32 b	17.04 b	33.33 b	15.81 b	80.06 b	402.71 a	29.17 a	25.90 a	44.93 a
24-EBL	*	*	**	*	*	*	**	*	*
24-EBL 0.00 μM	83.54 c	12.87 b	23.17 b	12.11 b	50.94 b	275.98 c	26.58 b	24.58 a	46.76 a
24-EBL 0.10 μM	139.32 ab	19.83 a	42.41 a	21.65 a	109.48 a	508.23 b	38.25 a	19.77 b	41.98 b
24-EBL 0.15 μM	145.12 ab	21.00 a	42.30 a	22.73 a	114.62 a	521.22 b	38.20 a	19.35 b	42.45 b
24-EBL 0.20 μM	150.24 a	22.31 a	42.12 a	22.32 a	116.28 a	609.35 a	38.23 b	18.98 b	42.79 b
N X 24-EBL	*	*	**	*	**	*	NS	NS	NS

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). * = diferencia significativa, NS = diferencias no significativo.

Tabla 2. Efecto de la concentración de N en la solución de riego y de la aspersión foliar de 24-EBL sobre el contenido de N en los órganos de plantas de arándano (*V. corymbosum* L.).

	Contenido de N (mg)			
	Tallos	Raíces	Hojas	Planta
180 días				
N	*	*	*	*
0.6 mM	3.54 b	0.335 b	15.37 b	20.76 b
6.0 mM	7.94 a	0.650 a	32.71 a	42.83 a
24-EBL	*	*	*	*
24-EBL 0.0 µM	5.74 b	0.49 d	24.04 b	31.79 c
24-EBL 0.10 µM	8.03 a	0.77 c	35.52 ab	46.10 b
24-EBL 0.15 µM	8.05 a	0.84 b	38.34 a	49.27 a
24-EBL 0.20 µM	8.10 a	0.89 a	38.99 a	49.33 a
N X 24-EBL	NS	NS	NS	NS
240 días				
N	*	*	*	*
0.6 mM	3.81 b	0.34 b	16.54 b	22.27 b
6.0 mM	7.99 a	0.71 a	40.31 a	50.48 a
24-EBL	*	*	*	*
24-EBL 0.00 µM	5.90 b	0.52 b	28.42 b	36.37 b
24-EBL 0.10 µM	7.92 a	0.80 a	49.22 a	55.31 a
24-EBL 0.15 µM	7.67 a	0.82 a	51.94 a	55.18 a
24-EBL 0.20 µM	8.08 a	0.82 a	50.23 a	54.76 a
N X 24-EBL	*	*	*	*
300 días				
N	*	*	*	*
0.6 mM	4.37 b	0.40 b	19.59 b	26.76 b
6.0 mM	8.32 a	0.71 a	41.94 a	52.14 a
24-EBL	*	*	*	*
24-EBL 0.0 µM	6.34 b	0.55 c	30.76 b	39.45 b
24-EBL 0.10 µM	8.51 a	0.79 b	37.11 a	48.03 a
24-EBL 0.15 µM	8.66 a	0.86 a	38.02 a	50.39 a
24-EBL 0.20 µM	8.78 a	0.88 a	38.74 a	50.34 a
N X 24-EBL	*	*	*	*
360 días				
N	*	*	*	*
0.6 mM	4.14 b	0.39 b	20.15 b	26.93 b
6.0 mM	6.74 a	0.72 a	36.74 a	47.09 a
24-EBL	*	*	*	*
24-EBL 0.00 µM	5.44 b	0.55 c	28.44 b	37.01 b
24-EBL 0.10 µM	8.85 a	0.81 b	38.04 a	49.14 a
24-EBL 0.15 µM	8.87 a	0.87 a	39.13 a	50.60 a
24-EBL 0.20 µM	8.86 a	0.88 a	39.22 a	48.41 a
N X 24-EBL	*	*	*	*

*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). * = diferencia significativa, NS = diferencias no significativo.*

Tabla 3. Efecto de la concentración de N en la solución de riego y de la aspersión foliar de 24-EBL sobre el intercambio de gases en plantas de arándano (*V. corymbosum* L.).

	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\mu\text{mol m}^2\text{ s}^{-1}$)	Transpiración ($\mu\text{mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
180 días			
N	*	*	*
0.6 mM	4.06 b	54.67 b	1.13 b
6.0 mM	9.21 a	93.67 a	1.57 a
24-EBL	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	6.63 b	74.17 b	1.35 c
24-EBL 0.10 μM	10.78 a	99.29 a	1.63 b
24-EBL 0.15 μM	11.03 a	111.85 a	1.86 b
24-EBL 0.20 μM	12.29 a	125.78 a	2.27 a
N X 24-EBL	*	NS	*
240 días			
N	*	*	*
0.6 mM	5.8 a	65.67 b	0.9 b
6.0 mM	7.18 b	106.56 a	1.08 a
24-EBL	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	6.49 b	86.11 b	0.99 c
24-EBL 0.10 μM	13.14 a	109.43 b	1.42 b
24-EBL 0.15 μM	13.02 a	115.67 b	1.49 b
24-EBL 0.20 μM	11.77 a	132.67 a	1.77 a
N X 24-EBL	*	*	*
300 días			
N	*	*	*
0.6 mM	4.21 b	65.67 b	0.63 b
6.0 mM	6.81 a	116.98 a	0.97 a
24-EBL	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	5.19 b	91.32 c	0.80 c
24-EBL 0.10 μM	8.06 a	130.22 b	1.18 b
24-EBL 0.15 μM	9.10 a	160.78 a	1.36 a
24-EBL 0.20 μM	9.16 a	163.44 a	1.41 a
N X 24-EBL	*	*	*
360 días			
N	*	*	*
0.6 mM	9.60 b	72.89 b	1.38 a
6.0 mM	11.28 a	95.44 a	0.93 b
24-EBL	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	10.44 b	84.16 c	1.15 b
24-EBL 0.10 μM	14.06 a	109.83 b	1.31 b
24-EBL 0.15 μM	15.21 a	121.49 a	1.89 a
24-EBL 0.20 μM	15.73 a	122.31 a	1.12 a
N X 24-EBL	*	*	*

*Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). * = diferencia significativa, NS = diferencias no significativo.*

Tabla 4. Efecto de la concentración de N en la solución de riego y de la aspersión foliar de 24-EBL sobre el contenido de clorofilas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en hojas de plantas de arándano (*V. corymbosum* L.).

	Clorofila α	Clorofila β	Clorofila α + β	Fenoles totales	Flavonoides totales	Taninos	DPPH
	mg.g ⁻¹			mg GAE g ⁻¹ FW	CE g ⁻¹ FW	mg CE g ⁻¹ FW	GAE mg.g ⁻¹ FW
180 días							
N	*	*	*	*	*	*	*
0.6 mM	0.44 b	1.13 b	1.62 b	26.99 b	11.87 a	9.66 a	16.45 b
6.0 mM	0.49 a	1.17 a	2.03 a	33.55 a	10.14 b	5.24 b	17.73 a
24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	0.46 b	1.15 c	1.82 c	30.27 c	11.00 b	7.45 b	17.09 b
24-EBL 0.10 μM	0.72 a	1.18 b	2.26 b	43.18 b	20.69 a	9.14 a	27.94 a
24-EBL 0.15 μM	0.79 a	1.19 b	2.27 b	47.66 a	22.52 a	10.28 a	30.17 a
24-EBL 0.20 μM	0.81 a	1.31 a	2.64 a	47.48 a	23.13 a	16.16 a	30.41 a
N X 24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
240 días							
N	*	*	*	*	*	*	*
0.6 mM	0.41 b	1.08 b	1.52 b	27.55 b	11.05 a	4.59 b	21.54 a
6.0 mM	0.57 a	1.16 a	2.03 a	31.57 a	10.31 b	5.11 a	18.09 b
24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
24-EBL 0.00 μM	0.49 b	1.05 c	1.77 b	29.56 c	10.90 c	4.85 b	19.81 b
24-EBL 0.10 μM	0.74 a	1.23 b	2.25 a	40.69 b	20.68 b	6.22 a	28.73 a
24-EBL 0.15 μM	0.78 a	1.23 b	2.27 a	44.26 b	19.21 b	6.39 a	30.17 a
24-EBL 0.20 μM	0.81 a	1.28 a	2.23 a	51.05 a	28.69 a	6.29 a	30.36 a
N X 24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
300 días							
N	*	*	*	*	*	*	*
0.6 mM	0.52 b	1.11 b	1.68 b	25.68 b	10.98 a	4.85 b	27.06 b
6.0 mM	0.55 a	1.17 a	1.94 a	33.31 a	10.57 b	5.27 a	28.01 a
24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
24-EBL 0.0 μM	0.53 c	1.14 c	1.81 d	29.49 d	10.77 c	5.06 d	27.53 b
24-EBL 0.10 μM	0.73 b	1.24 b	2.24 c	42.57 c	18.29 b	6.41 c	31.99 a
24-EBL 0.15 μM	0.83 a	1.23 b	2.35 b	50.22 b	23.18 b	6.87 b	33.36 a
24-EBL 0.20 μM	0.88 a	1.36 a	2.49 a	55.15 a	26.72 a	6.95 a	33.53 a
N X 24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
360 días							
N	*	*	*	*	*	*	*
0.6 mM	0.45 b	1.16 a	1.66 b	31.27 b	14.75 a	4.95 b	27.04 b
6.0 mM	0.56 a	1.19 a	2.02 a	34.64 a	10.66 b	5.25 a	28.07 a
24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
24-EBL 0.0 μM	0.50 c	1.17 b	1.84 c	32.95 d	12.65 b	5.01 b	27.55 b
24-EBL 0.10 μM	0.70 b	1.24 a	2.36 b	39.21 c	22.49 a	6.26 a	29.04 a
24-EBL 0.15 μM	0.95 a	1.27 a	2.46 b	49.02 b	22.56 a	6.42 a	30.46 a
24-EBL 0.20 μM	1.02 a	1.31 a	2.59 a	54.59 a	25.71 a	6.56 a	30.64 a
N X 24-EBL	*	*	*	*	*	*	*

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). * = diferencia significativa, NS = diferencias no significativo.

DISCUSION

Efecto de la concentración de N en la solución de riego

El N es el principal elemento mineral asociado al crecimiento y desarrollo de las plantas; puede ser absorbido en forma de amonio o de nitrato, dependiendo de la especie y de las condiciones de crecimiento. El arándano es una especie originaria del sotobosque, donde predomina la forma amoniaca del N y prefiere esta forma nitrogenada (Babalik et al., 2020). En este trabajo se evaluó el efecto de dos concentraciones N en la solución de riego en forma de amonio, una alta (6.0 mM) y una baja (0.6 mM), sobre algunos parámetros de crecimiento, acumulación de N en la biomasa, intercambio de gases, contenido de clorofilas y compuestos antioxidantes.

Los resultados obtenidos muestran que las plantas irrigadas con soluciones a 0.6 mM de N presentaron una reducción de la altura de la planta, el número de tallos por planta, el número de hojas por tallo, el número de flores por tallo y el área foliar, durante el periodo de evaluación (Tabla 1). Aunque las plantas de arándano están adaptadas a crecer en condiciones de baja disponibilidad de N (Bañados et al, 2012), estos resultados muestran que su cultivo con soluciones a 0.6 mM de N generó un estrés nutritivo que redundó en la reducción del crecimiento. En la literatura especializada está bien establecido que la deficiencia de este nutrimento en las plantas de arándano afecta severamente su crecimiento y productividad (Bañados et al, 2012; Wang et al., 2020).

El estrés nutritivo generado por la baja disponibilidad de N en el medio radical, en las plantas que recibieron 0.6 mM de N en la solución de riego, redujo evidentemente su acumulación en la biomasa de la planta, así como el contenido de clorofilas, la fotosíntesis, la

transpiración y la conductancia estomática (Tablas 2, 3 y 4). La reducción en los valores de estas variables por efecto de la baja disponibilidad de N en el entorno radical es coherente con lo establecido en la literatura. El contenido de N de los tejidos de la planta, principalmente en hojas y tallos, está asociado al contenido de las clorofilas que participan en la transformación de la energía luminosa en energía química y al contenido de la enzima rubisco que es fundamental para la fijación de CO₂, en el proceso fotosintético (Zhang et al., 2019; Wang et al., 2020); además, la deficiencia de N induce clorosis y la degradación de las membranas de los tilacoides en los cloroplastos, lo que conduce a la degradación de la clorofila por el aumento de la actividad de la clorofilasa, lo que redundará en la inhibición de la fotosíntesis (Choudhary et al., 2012; Yusuf et al., 2014; Bloomfield et al., 2014). El contenido de clorofilas es muy sensible al estrés abiótico y se utiliza como indicador del desarrollo de los cloroplastos, de la actividad fotosintética y de la apertura estomática (Vello et al., 2018). La reducción de la tasa de transpiración y la conductancia estomática está asociada también al efecto negativo de la deficiencia de N sobre la presión osmótica celular, el equilibrio hormonal y las relaciones hídricas de la planta (Wang et al., 2020).

En relación al contenido de antioxidantes, en la literatura se ha planteado que la deficiencia de N afecta activa el sistema de defensa del metabolismo secundario, específicamente las rutas metabólicas de síntesis de compuestos con actividad antioxidante (Freitas et al., 2012; Wang et al., 2020). Se sabe que en esta condición, en el arándano, se induce la producción de compuestos fenólicos y flavonoides (Bañados et al., 2012; Wang et al., 2020). En concordancia con estos trabajos, los resultados obtenidos en este estudio muestran una acumulación de flavonoides totales en las hojas de las plantas con estrés nutritivo, irrigadas con soluciones nutritivas con 0.6 mM de N, en todas las fechas de muestro. Sin embargo, contrariamente, el contenido de fenoles totales y de taninos, así como la actividad antioxidante se incrementaron en las plantas que recibieron 6.0 mM de N en la solución de

riego, en la mayoría de las fechas de muestreo. Es necesario realizar más investigación para elucidar este proceso.

Efecto de la concentración de la aspersión foliar de 24-EBL

La aplicación foliar de hormonas/reguladores vegetales desempeña un papel importante en la inducción de la capacidad de la planta para resistir condiciones adversas de estrés, mejorando el crecimiento y el rendimiento (Hussain et al., 2020). La aplicación de 24-EBL ha mostrado un efecto positivo en la regulación de varios procesos metabólicos de las plantas, así como en la interacción con otras hormonas vegetales (Zhao et al., 2017). Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que la aplicación foliar de 24-EBL generó efectos estadísticamente significativos en todas las fechas de muestreo, en todas variables estudiadas (Tablas, 1, 2, 3 y 4). La aplicación foliar de esta hormona aumentó la altura de la planta, el área foliar, el número de tallos por planta, el número de hojas por tallo, el número de flores por tallo y la biomasa de los órganos; también incrementó el contenido de N en los órganos de la planta, la fotosíntesis, la transpiración y la conductancia estomática, así como en el contenido en las hojas de clorofilas, fenoles totales, flavonoides totales, taninos y la actividad antioxidante. En todos los casos los valores más altos de todas estas variables se registraron en las plantas asperjadas con 0.20 μ M de 24-EBL.

En la literatura especializada se conoce que la aplicación de 24-EBL genera un efecto positivo en la promoción del crecimiento, el rendimiento, el contenido de clorofila, la tasa fotosintética, la conductancia estomática, el contenido de N de la hoja, el contenido de azúcares y de antioxidantes en la biomasa de las plantas (Dalio et al., 2013; Çoban et al., 2016; Fariduddin et al., 2015; Anwar et al., 2018; Tanveer et al., 2019; Xiong et al., 2021).

El efecto de los BRs sobre la acumulación de compuestos antioxidantes se describe de la siguiente manera: los BRs funcionan como una molécula de señalización y su interacción con otras fitohormonas como auxinas y giberelinas regulan la expresión de varios genes, como los involucrados en la biosíntesis de enzimas SOD, CAT y POD, que están relacionadas con las reacciones bioquímicas para la eliminación de una gran cantidad de $O^{\cdot -2}$. En un estudio realizado *in vivo*, el 24-EBL mejoró la actividad de UDP-glucosa: flavonoide 3- O -glucosiltransferasa (UGT), el contenido de taninos, flavonoides y la capacidad antioxidante (Karlidag et al., 2011). Lo anterior debido a que los BRs inducen la expresión de los genes que codifican ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCo) (es decir, BnRBCL y BnRBCS) y otros genes, como BnUGT79B1, BnMYB12 y MYB28, que regulan la síntesis de compuestos fenólicos y glucosinolatos, activando así la defensa de la planta en condiciones de estrés (Li et al., 2020 y Ahammed et al., 2013). Por lo anterior, el incremento en los contenidos de compuestos antioxidantes y de la actividad antioxidante en las hojas de arándano asperjadas con 24-EBL, podría deberse a una mayor estabilidad de la membrana, ya que como se ha demostrado en reportes previos, esta hormona reduce las actividades de la fosfolipasa D (PLD) y la lipoxigenasa (LOX), lo que incrementa la actividad del sistema antioxidante (Thussagunpanit et al., 2015). En este sentido, Hussain y colaboradores (2019) demostraron que, en un ambiente de salinidad y privación de luz, la aplicación de 24-EBL induce una reducción de especies reactivas de oxígeno (ROS), previniendo el daño a la membrana y la producción de más radicales libres oxidantes.

Interacción entre la concentración de N en la solución de riego y la aspersión foliar de 24-EBL

Las fitohormonas son compuestos fundamentales en los procesos fisiológicos asociados al crecimiento y desarrollo de los vegetales, estas sustancias presentan importantes interacciones con elementos esenciales de las plantas (Pervin et al., 2013). Los BRs se sintetizan en respuesta a la deficiencia de nutrimentos e interaccionan con otras fitohormonas activando el sistema de defensa de la planta en condiciones de estrés (Li et al., 2020 y Ahammed et al., 2013). Se ha reportado que estas fitohormonas alivian los efectos negativos del estrés abiótico sobre los procesos fisiológicos que determinan el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Anwar et al., 2018). Soliman et al, (2020), reportó que la disminución en la altura de la planta y la biomasa puede compensarse con la aplicación de 24-EBL, cuando la planta se encuentra en un estado de estrés por toxicidad de metales, salinidad en el suelo, deficiencia hídrica o cambios en la temperatura ambiental. En uva la aspersión de 24-EBL atenuó el envejecimiento de las hojas y los procesos de senescencia, en un ambiente de deficiencia de hierro y suelos con alta salinidad (Zhang et al., 2019). La aplicación de 24-EBL también redujo la pérdida de electrolitos en condiciones de estrés por deficiencias de nutrimentos (Zafari et al., 2020).

En relación con el N, se sabe que cuando la planta se mantiene estresada pero tratada con brasinoesteroides, las estomas se abren y las hojas permanecen extendidas, probablemente debido a la absorción de N desde las raíces (Shu et al., 2015). La aplicación exógena de 24-EBL, en plantas de cebada privadas de N, indujo el crecimiento al aumentar la acumulación de K y mantener una alta relación K/Na en las raíces (Gao et al. 2016). En cebada (Asghari et al., 2016) y trigo (Xi et al., 2013), la aplicación de 24-EBL estabilizó la

integridad de la estructura del cloroplasto y retrasó su degradación, en condiciones de baja disponibilidad de N. Sin embargo, los resultados de este trabajo mostraron que el efecto positivo de la aplicación foliar de esta fitohormona sobre las variables de crecimiento (Tabla 1), acumulación de N en los tejidos (Tabla 2), fotosíntesis, transpiración (Tabla 3), contenido de clorofilas, de fenoles totales, de taninos y actividad antioxidante (Tabla 4), se observó principalmente en las plantas no estresadas por deficiencia de N, irrigadas con soluciones con 6.0 mM de N, en la mayoría de las fechas de muestreo. El efecto positivo de la aplicación de 24-EBL, no compensó el efecto negativo del estrés prolongado por deficiencia de N en las variables evaluadas.

CONCLUSION

En síntesis, el análisis de los resultados obtenidos en este trabajo muestra que las plantas de arándano irrigadas con soluciones nutritivas con 0.6 mm de N presentaron una condición de estrés. Esta condición se manifestó en la reducción del crecimiento, de la acumulación de N, del intercambio de gases, del contenido de clorofilas, de fenoles totales, de taninos y de la actividad antioxidante, así como en el incremento en el contenido de flavonoides totales. La aspersión foliar de 24-EBL incrementó el valor de todas las variables evaluadas, sin embargo, este efecto se presentó principalmente en las plantas que recibieron 6.0 mM de N, en la solución de riego y no compensó el efecto negativo generado por el estrés asociado a la deficiencia de N. Los valores más altos de estas variables se observaron en las plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) var. Biloxi, irrigadas con soluciones nutritivas con 6.0 mM de N y asperjadas con 0.20 µM de 24-EBL, con excepción del contenido de flavonoides totales.

REFERENCIAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capítulo 4

Efecto del 24-EPRI BRASINOLIDE sobre el rendimiento, calidad y actividad antioxidante en frutos de arándano cultivado en dos concentraciones de Nitrógeno

Efecto del 24-EPTRIBRASINOLIDE sobre el rendimiento, calidad y actividad antioxidante en frutos de arándano cultivado en dos concentraciones de Nitrógeno

RESUMEN

En las últimas décadas el fruto del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) ha cobrado importancia mundial, debido a sus propiedades nutraceuticas, que lo clasifican como un alimento funcional, principalmente por su alto contenido de compuestos antioxidantes. La acumulación de estos compuestos en el fruto depende de la variedad, de las condiciones ambientales y del manejo agronómico del cultivo. La fertilización nitrogenada y el uso de fitohormonas son prácticas fundamentales en el manejo agronómico de cultivos hortofrutícolas como el de arándano. Los Brasionesteroides son fitohormonas que han mostrado efectos sobre el crecimiento, el desarrollo de las plantas, así como en la producción y la calidad de los frutos. Se realizó un ensayo experimental con plantas de arándano cultivadas en hidroponía y bajo condiciones de invernadero, durante 18 meses. Se estudiaron dos factores: a) La aplicación foliar de 24-Epibrassinolida (24-EBL) a cuatro concentraciones (0.00 μ M, 0.10 μ M, 0.15 μ M y 0.20 μ M) y b) La concentración de nitrógeno (N) en la solución nutritiva a dos niveles (0.6 mM y 6.0 mM). Las variables estudiadas fueron el rendimiento del fruto y su calidad, esto último evaluado a través de: el peso, el calibre, la firmeza, la acidez titulable, la actividad antioxidante, así como el contenido de sólidos solubles totales, de compuestos fenólicos, de antocianinas y de flavonoides. Los resultados mostraron que: a) Las plantas fertirrigadas con 6.0 mM de N aumentaron el rendimiento, el peso, el diámetro y la firmeza de los frutos, pero redujeron la actividad antioxidante, la acidez total, el contenido de sólidos solubles totales, de fenoles, de antocianinas y de flavonoides; b) Las plantas asperjadas con 24-EBL incrementaron el valor de todas las variables estudiadas y el más alto se observó en las plantas que recibieron la concentración de 0.20 μ M de 24-EBL; c) La interacción de los factores estudiados fue estadísticamente significativa para la actividad antioxidante, la acidez total, el contenido de sólidos solubles totales, de fenoles, de antocianinas y de flavonoides, por lo que en estos casos el efecto de la aspersión foliar de 24-EBL depende del estado nitrogenado de la planta.

Palabras clave: Arándano, 24-Epibrasinolido, nitrógeno, rendimiento, calidad, fenoles, antocianinas, actividad antioxidante, calidad de fruto.

INTRODUCCIÓN

Entre los diversos tipos de arándanos, el arándano azul (*V. corymbosum* L.) es el más cultivado en todo el mundo; en América los principales países productores son EE. UU., Canadá, México, Chile (Hu et al., 2016). Los arándanos son considerados como alimentos funcionales, por su composición única, ricos en compuestos importantes como fenólicos y antocianinas, sustancias que le brindan alta actividad antioxidantes, lo que los hace aptos para mejorar algunos atributos de la salud humana (Chan et al., 2021). La acumulación de estas sustancias en el fruto depende del genoma de la planta, de las condiciones ambientales y del manejo agronómico del cultivo. Una de las practicas más importantes del manejo del cultivo es la aplicación de fertilizantes y entre estos los fertilizantes nitrogenados son los más se utilizan. Este debido a que el nitrógeno (N) es el principal elemento asociado al crecimiento y desarrollo de las plantas, el cual constituye entre el 3% y el 5% de la materia seca (Ur Rahman et al., 2023). Este elemento es absorbido por las raíces de las plantas, principalmente en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+); la preferencia por una de estas fuentes nitrogenadas depende de la especie vegetal y de su estado fenológico; en el arándano está bien establecida la preferencia por el NH_4^+ (Ali et al., 2013). En este cultivo se ha demostrado que la aplicación de N mejora el rendimiento y la calidad de la fruta, como el tamaño y las características organolépticas (Furio et al., 2022). Sin embargo, algunos estudios han demostrado que al reducir los aportes de N al cultivo disminuye el rendimiento, pero los frutos presentan un aumento en el contenido de azúcares y antocianinas (Fernandez-Salvador et al., 2017)

Además de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, otra importante práctica agronómica para incrementar el rendimiento y la calidad de la producción en los cultivos hortifrutícolas es el uso de fitohormonas; que induce la modulación de diferentes genes y enzimas relacionados con la resistencia de las plantas a factores ambientales adversos y la

producción de compuestos fitoquímicos de relevancia (Chávez et al., 2020). Entre las fitohormonas más utilizadas se encuentran las giberelinas, las auxinas, las citoquininas, el ácido abscísico, el etileno y, recientemente, los brasinoesteroides. Estos últimos han demostrado que juegan un papel clave en diferentes procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Giongo et al., 2013) y que inducen la activación del sistema de respuesta ante el estrés biótico y abiótico (Dogterom et al., 2000). La aplicación foliar del brasinoesteroide 24-Epibrasinolido (24-EBL) indujo una respuesta favorable ante la presencia de contaminantes como metales pesados, el estrés hídrico, las altas temperaturas y la mala nutrición prolongada, en diversos cultivos como arroz, mango, uva y fresa. En estos estudios se demostró que esta fitohormona activa las vías de producción de compuestos fenólicos, la elongación celular, el desarrollo del sistema radicular y cambios en la actividad fotosintética. Se ha demostrado que esta fitohormona mejora la resistencia a condiciones ambientales adversas y algunos parámetros de crecimiento de las plantas, convirtiéndose en agentes mediadores del estrés y promotores del crecimiento (Cao et al., 2018). Está bien establecido que tiene un papel importante en la activación de las respuestas de defensa de los cultivos, incluidos diferentes sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, en escenarios donde las condiciones ambientales son desfavorables para los cultivos de frutales y cereales (Ouyang et al., 2018).

El propósito de este estudio fue evaluar el rendimiento, la calidad del fruto, ante la aplicación foliar de 24-EBL en plantas de arándano (*V. corymbosum* L.) variedad Biloxi, cultivadas en alta y baja disponibilidad de N en el medio radical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

Se desarrolló un experimento del 4 de enero del 2019 a 4 agosto del 2020, en un invernadero tipo techumbre curva, cubierto con plástico blanco lechoso de calibre 720, que proporciona un 30% de sombra y permite una temperatura al interior de 27 °C en promedio durante el día y una humedad relativa del 47%. El invernadero está ubicado en Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), en el kilómetro 9.5 de la Carretera Morelia Zinapécuaro, CP. 58880, en Tarímbaro, Michoacán. Con coordenadas geográficas: 19.7681622-101.1513041 y elevación 1860 m.

Se usaron plántulas de arándano (*V. corymbosum* L.) variedad Biloxi de seis meses de edad, adquiridas en vivero comercial Marpa ©. Las plantas fueron homogeneizadas dejando un solo tallo de 15 cm con cinco yemas y se trasplantaron a un sistema hidropónico en cubetas de plástico de 20 L, en un sustrato compuesto por una mezcla de arena de río y tezontle en relación (2:1 V/V). El experimento fue de tipo factorial con una distribución completamente al azar; los factores que se estudiaron fueron: 1) concentración de N en la solución de riego (en forma de NH_4^+), a dos niveles 0.6 mM y 6.0 mM; y 2) aplicación foliar de 24-Epibrasinolido a cuatro concentraciones 0.00 μM , 0.10 μM , 0.15 μM y 0.20 μM en cada etapa de floración. De la combinación de los factores se obtuvieron 8 tratamientos, los cuales se repitieron 4 veces generando 32 unidades experimentales, con cuatro plantas cada una.

Sistema de fertirriego

El sistema de riego consistió en dos depósitos con capacidad de 700 L, con bombas centrifugas de 1/2 hp (IUSA MODELO: 616289). Las soluciones se suministraron utilizando mangueras de 16 mm y goteros de 16 Lph (litros por hora). El riego se realizó con pulsos de tres minutos cada 12 horas (a las 8:30 y 20:30 hrs), con un gasto real de 1.0 L de solución nutritiva por planta por día. Se utilizaron dos soluciones nutritivas completas (Cuadro 1A y Cuadro 1B) y ambas tenían: N en forma de NH_4^+ , CE de 1.8 mS cm^{-1} y pH ajustado a 4.5 - 5.0 con ácido sulfúrico (14 N), una carga iónica total de 16 Meq $^{-1}$, 1.0 Meq $^{-1}$ de H_2PO_4^+ y una proporción de K^+ Ca^{++} Mg^{++} de 25%, 50% y 25% respectivamente, se modificó la proporción de aniones en función de los tratamientos aplicados. La concentración de microelementos fue la siguiente: H_3BO_3 , 42.0 μM ; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1.0 μM ; Fe-EDTA, 15.0 μM ; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 23.0 μM ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.3 μM y $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 6.0 μM . Las condiciones de fertirriego se mantuvieron durante todo el experimento (550 días).

Cuadro 1 A. Solución nutritiva NH_4^+ 0.6 mM

Meq L $^{-1}$	NO_3^-	H_2PO_4	SO_4	Σ
K^+	♦	1.00	2.85	3.85
Ca^{++}	♦	♦	7.70	7.70
Mg^{++}	♦	♦	3.85	3.85
NH_4^+	♦	♦	0.60	0.60
Σ	0.00	1.00	15.00	16.00

Cuadro 1 B. Solución nutritiva NH_4^+ 6.0 mM

Meq L $^{-1}$	NO_3^-	H_2PO_4	SO_4	$\square$
K^+	$\square$	1.00	1.50	2.50
Ca^{++}	$\square$	$\square$	5.00	5.00
Mg^{++}	$\square$	$\square$	2.50	2.50
NH_4^+	$\square$	$\square$	6.00	6.00
Σ	0.00	1.00	15.00	16.00

Se utilizaron los fertilizantes solubles grado fertirriego: fosfato monopotásico, sulfato de potasio, sulfato de amonio, fosfato monoamónico, sulfato de magnesio, cloruro de potasio, cloruro de calcio, micronutrientes y solución madre de Fe EDTA. La preparación de las soluciones nutritivas se realizó con la relación gramos de sales por 100 litros de agua desmineralizada como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Preparación de las soluciones nutritivas

Fertilizantes/Sales de la solución	Solución 0.6 mM NH ₄ ⁺ (g /100 L)	Solución 6.0 mM NH ₄ ⁺ (g /100 L)
KH ₂ PO ₄ (Mol L ⁻¹)	67.10	67.10
K ₂ SO ₄ (Mol L ⁻¹)	221.56	221.56
(NH ₄) ₂ SO ₄	37.61	376.16
NH ₄ H ₂ PO ₄ (Mol L ⁻¹)	11.53	115.31
MgSO ₄ ·7H ₂ O (Mol L ⁻¹)	24.74	24.74
KCl (Mol L ⁻¹)	74.56	74.56
CaCl ₂ ·2H ₂ O (Mol L ⁻¹)	27.02	27.02
Solución de micros ()	14.5 ml	14.5 ml
*Solución Fe EDTA (**)	9 ml	9 ml

Nota: (*)- En 1L: 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂·4H₂O; 0,10 g ZnCl₂; 0,04 g CuCl₂; 0,02 g H₂MoO₄H₂O.

(**)- 24,9 g FeSO₄·7H₂O o 24,25 g de FeCl₂·6H₂O; 33,2g EDTA-Na; 89 mL NaOH 1N completar en 800mL H₂O.

Preparación y aplicación de las soluciones de 24-EBL

Para la preparación de la solución madre de 24-EBL, se disolvieron 10 mg (4.87mM) de 24-EBL (85% de pureza, Sigma Aldrich) en una solución tensoactiva que contenía 10 mL de etanol al 96% y 10 mL de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) al 0.1% (v/v), una vez disuelto el soluto, la solución se aforó con agua destilada a volumen de 1 L, las soluciones de trabajo se prepararon a partir de la solución madre a cuatro concentraciones a 0.10 µM, 0.15 µM, 0.20 µM, y para la solución a 0.0 µM se preparó una solución con 10 mL de etanol al 96% y 10 mL de monolaurato polioxietilensorbato (Tween 20) al 0.1 % (v/v), la solución se aforo a 1 L de agua destilada (la solución 0.0 µM no contenía soluto). Estas soluciones se almacenaron en refrigeración de 2° a 4° C, en botellas de vidrio color ámbar que se forraron con papel aluminio para proteger la solución de la luz.

A los 7 días después de iniciada la etapa de la segunda floración, 150 días después de establecido el experimento (DDE, el día uno del experimento corresponde al inicio de los tratamientos nutritivos en el fertirriego, con las soluciones a 0.6 mM y 6.0 mM de N), las

plantas fueron asperjadas con 0.015 L de solución de 24-EBL a 0.00 μM , 0.10 μM , 0.15 μM , 0.20 μM , de acuerdo con el tratamiento correspondiente. La aspersión de brasinoesteroide se repitió en cada floración durante todo el experimento (total 8 aplicaciones).

Variables evaluadas

Determinación de rendimiento y peso del fruto

Durante todo el periodo de evaluación los frutos maduros se cosecharon a mano dependiendo de la tasa de maduración, basada en el color de la fruta (parámetro comercial 98% de color azul), se pesaron en una balanza electrónica de precisión (Mettler Toledo, PR8002) y se contó y pesó una submuestra de 100 frutas para calcular el número de frutas por planta y peso promedio de la baya.

A la mitad del periodo de evaluación se escogió una cosecha para realizar la determinación de los parámetros de calidad de los frutos.

Determinación acidez titulable

La acidez titulable (AT) de la fruta se determinó en cuarenta frutos de cada unidad experimental (10 frutos de cada planta), a través del método de titulación potenciométrica utilizando un titulador automático Titroline Easy (SI Analytics GmbH) como se describe por Castrejón et al. (2008).

Determinación de calibre y firmeza

El tamaño de la fruta (diámetro ecuatorial) se midió en cada cosecha con un vernier electrónico (Trupper) simultáneamente en 10 frutas por planta de cada unidad experimental cuarenta frutos por unidad experimental, la firmeza se determinó en 40 frutos por unidad experimental con un texturometro de sonda para fruta (CT3 Brookfield de AMETEK). El

equipo se montó con fuerzas de compresión máximas y mínimas de 200 g (1,96 N) y 15 g (0,15 N), respectivamente, y una velocidad del pistón de 6 mm s⁻¹.

Determinación de pH

Los valores de pH se determinaron con el jugo de 10 frutos por planta, en total se procesaron 40 frutos por unidad experimental, se utilizó un potenciómetro electrónico (ORION 00430).

Determinación TSS

Los sólidos solubles totales (TSS) se midieron con el jugo de 10 frutos por planta, en total se procesaron 40 frutos por unidad experimental, se utilizó un refractómetro digital termocompensado (Hannah Instruments) que fue previamente calibrado con agua destilada.

Preparación de extractos

Se muestrearon 100 g de fruto fresco por cada planta, los frutos se liofilizaron en un equipo Labconco™ FreeZone™ -105°C 4.5L Benchtop Freeze Dry Systems y se molieron (molino de bolas Tetsch MM 200), con nitrógeno líquido, el polvo seco se mezcló con metanol (60 mL) en un baño de ultrasonidos (USC-1400 Unique) durante 15 minutos a temperatura ambiente (20 °C). El extracto se centrifugó a 2000 RPM durante 10 minutos y el sobrenadante se almacenó en un matraz ámbar. Este extracto se utilizó para determinar los compuestos fenólicos totales (FT) y para el análisis de la actividad antioxidante (AA).

Muestras de arándano liofilizado en polvo, se extrajeron con metanol acidificado (HCl 0.1%) (15 mL) en un baño de ultrasonidos (USC-1400 Unique) durante 30 minutos a temperatura ambiente (20 °C). El extracto se centrifugó a 2000 RPM durante 10 minutos y el sobrenadante se utilizó para evaluar el contenido de antocianinas totales (TA).

Determinación de compuestos fenólicos totales (FT)

El contenido fenólico total de cada extracto se determinó espectrofotométricamente (Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible) según el método de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965). La absorbancia se leyó a 765 nm y los resultados se expresaron, en peso fresco, como mg.100 g⁻¹ equivalente de ácido gálico (GAE).

Determinación de antocianinas totales (AT)

El contenido de antocianinas totales se determinó por el método del diferencial de pH (GIUSTI; WROLSTAD, 2001). La absorbancia se leyó a 700 nm y a la longitud de onda de máxima absorción (Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). Los resultados, se expresaron como la concentración de antocianinas en mg.100 g⁻¹ equivalente de cianidina-3-glucósido ($\epsilon = 26900$, PM = 449.2).

Contenido total de flavonoides de los frutos (FV)

El contenido total de flavonoides se llevó a cabo de acuerdo al método planteado por Lichtenthaler (1987). El polvo de arándano liofilizado se mezcló 0.5 ml de solución de NaNO₂ (1,5%), posteriormente se agregó 1 mL de AlCl₃ (3%) y NaOH (1 mol L⁻¹). Después de la incubación durante 5 min en la oscuridad, la absorbancia se midió a 490 nm (Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). Los resultados se expresaron como equivalentes de epicatequina mg (EE) por 100 g de peso de la fruta (mg 100 g⁻¹ FW).

Determinación de la actividad antioxidante (AA) por los métodos:

Método ABTS

El método ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) se basa en la desactivación del catión radical antioxidante ABTS, que se mide por la disminución de la absorbancia a 734 nm. El método ABTS El método se realizó según lo descrito por Re et al

(1999). La absorbancia se leyó a 734 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), 7 minutos después de la adición del extracto. La actividad antioxidante total del fruto de arándano se expresó en $\mu\text{Mol.100 g}^{-1}$ de TEAC (capacidad antioxidante equivalente a Trolox).

Método DPPH

El radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es uno de los pocos compuestos nitrogenados orgánicos estables y comercialmente disponibles. El método se basa en la desactivación del radical DPPH por compuestos con propiedades antioxidantes presentes en extractos de frutas, y esta desactivación se monitoriza a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible). El método DPPH se llevó a cabo según lo descrito por Kim et al. (2002). Se evaluó la disminución de la absorbancia del radical DPPH 100 μM (2.9 mL) disuelto en metanol al 80% a 515 nm en un espectrofotómetro (Perkin Elmer Lambda 25 UV/Visible), 30 minutos después de la adición de cada extracto. La actividad antioxidante total del arándano, también se expresó en $\mu\text{Mol.100 g}^{-1}$ de TEAC.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron por medio de un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, para determinar los efectos simples de cada factor y su interacción en cada una de las variables estudiadas y cuando hubo se observaron diferencias estadísticamente significativas se aplicó la prueba de comparación de media de Tukey ($P \leq 0.05$). Se usó el Software SPSS V.26 (SPSS-IBM, Orchard Road-Armonk, Nueva York).

RESULTADOS

La concentración de N en la solución de riego generó efectos estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas. En el caso del rendimiento se observó que, durante el periodo de evaluación las plantas fertirrigadas con 6.0 mM de N produjeron casi tres veces más frutos ($1.4 \text{ kg planta}^{-1}$), que las plantas que recibieron soluciones nutritivas con una concentración del 0.6 mM de N ($0.5 \text{ kg planta}^{-1}$). De igual forma, el peso, el diámetro y la firmeza del fruto fueron superiores 34%, 31% y 26%, respectivamente, en las plantas fertirrigadas con soluciones con 6.0 mM de N, en comparación con los frutos de las plantas que recibieron 0.6 mM de N (Cuadro 3). Inversamente, los frutos de las plantas que recibieron la mayor concentración de N en la solución de riego (6.0 mM) presentaron los menores valores en la acidez titulable, en el contenido de sólidos solubles totales, de antocianinas, de flavonoides y de fenoles totales, así como en la actividad antioxidante (Cuadro 3 y Cuadro 4).

Cuadro 3. Efecto de la concentración de N en la solución de riego y de la aspersión foliar de 24-EBL sobre algunos parámetros de calidad de los frutos de plantas de arándano (*V. corymbosum* L.).

Factor	Rendimiento g plant ⁻¹	Peso del fruto G	Diámetro mm	Firmeza N	TSS %	TA g 100 mL ⁻¹	TSS/TA
N	*	*	*	*	*	*	*
6.0 mM	1400.00 a	1.34 a	15.84 a	2.57 a	11.08 b	1.25 b	8.86 a
0.6 mM	550.00 b	1.00 b	12.05 b	2.04 b	12.96 a	1.47 a	8.81 a
24-EBL	*	*	*	*	*	*	*
0.20 µM	2855.00 a	1.89 a	17.32 a	2.63 a	14.23 a	1.41 a	10.09 a
0.15 µM	2200.00 b	1.75 b	16.49 b	2.55 b	13.35 b	1.45 a	9.20 b
0.10 µM	2050.00 b	1.78 b	16.24 b	2.51 b	13.54 b	1.43 a	9.46 b
0.00 µM	975.00 c	1.24 c	13.94 c	2.30 c	12.02 c	1.36 b	8.83 c
N × 24 EBL	**	*	*	NS	*	*	*

TSS, Sólidos solubles totales; TA, Acidez titulable. Las medias con la misma letra no presentan diferencia significativa según la prueba Tukey ($P \leq 0.5$).

La aspersión foliar de 24-EBL también generó efectos estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas. Los frutos de las plantas que recibieron la aspersión

de esta hormona mostraron incrementos en todas las variables y los valores más altos se observaron en los frutos de las plantas que recibieron la concentración de 0.20 μM de 24-EBL. El rendimiento de frutos observado durante el periodo de evaluación fue tres veces superior entre los tratamientos de 0.00 μM y 0.20 μM de 24-EBL. El peso, el diámetro y la firmeza del fruto también se incrementaron en 52%, 24% y 14%, respectivamente, entre estos dos tratamientos (Cuadro 3). La acidez titulable y la actividad antioxidante DPPH y ABTS aumentó 3%, 41% y 54%, respectivamente entre los tratamientos antes mencionados. En los contenidos de sólidos solubles totales, antocianinas, flavonoides totales y fenoles totales se observaron incrementos de 18%, 65%, 96% y 56%, respectivamente entre las plantas que recibieron 0.00 μM y 0.20 μM de 24-EBL (Cuadro 3 y Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la concentración de N en la solución de riego y de la aspersión foliar de 24-EBL sobre algunos parámetros de calidad de los frutos de plantas de arándano (*V. corymbosum* L.).

Factor	AT	FV	FT	AA	
	mg g ⁻¹	$\mu\text{g QE}^3$ 100 g ⁻¹	mg GAE g ⁻¹	DPPH $\mu\text{mol TE g}^{-1}$	ABTS
N	*	*	*	*	*
6.0 mM	4.07 b	55.45 b	2.05 b	204.29 b	295.44 b
0.6 mM	4.62 a	67.69 a	2.32 a	245.77 a	332.42 a
24-EBL	*	*	*	*	*
0.20 μM	5.02 a	70.93 a	2.53 a	251.42 a	346.89 a
0.15 μM	4.89 ab	69.68 a	2.39 ab	245.62 a	334.73 a
0.10 μM	4.34 b	69.59 a	2.19 ab	225.88 a	343.55 a
0.00 μM	3.05 c	36.11 b	1.62 c	177.22 c	230.54 b
N × 24-EBL	**	**	*	*	**

AT, Antocianinas; FV, Fenoles totales; FT, Flavonoides totales; AA, Actividad antioxidante, métodos DPPH y ABTS. Las medias con la misma letra no presentan diferencia significativa según la prueba Tukey ($P \leq 0.5$).

La interacción de la concentración de N en la solución de riego y la aspersión de 24-EBL también fue estadísticamente significativa en todas las variables estudiadas, con excepción

de la firmeza del fruto; lo que implica que el efecto de la aplicación de 24-EBL depende de los tratamientos nitrogenados (Cuadro 3 y Cuadro 4). En las variables rendimiento, peso y diámetro del fruto los valores más altos se observaron en los frutos de las plantas fertirrigadas con 6.0 mM de N y asperjadas con 0.20 μ M de 24-EBL. Para las variables acidez titulable, actividad antioxidante, contenidos de sólidos solubles totales, de antocianinas, de flavonoides y de fenoles totales los mayores valores se registraron en los frutos de las plantas que recibieron 0.6 mM de N en la solución de riego y que fueron asperjadas con 0.20 μ M de 24-EBL.

DISCUSIÓN

El N es el principal elementos mineral esencial asociado al crecimiento vegetativo y a la producción de frutos en las plantas. En el cultivo de arándano el manejo de este elemento como fertilizantes es fundamental para obtener una buena producción y calidad de la cosecha. Sin embargo, este cultivo, por su hábitat de origen, tiene bajos requerimientos de N, por lo que su aplicación en los sistemas de producción agrícola debe ser manejada con precaución, para evitar deficiencias o excesos, que generen efectos negativos en el crecimiento de las plantas, el rendimiento y la calidad de los frutos (Morvan et al., 2020). En la literatura especializada, varios estudios han evaluado los efectos de la fertilización nitrogenada en el cultivo de arándano y se ha demostrado que incrementa el rendimiento y la calidad de los frutos, como el tamaño y las características organolépticas (Travica et al., 2020). En el presente trabajo, las plantas que recibieron 6.0 mM de N en la solución de riego, mostraron incrementos estadísticamente significativos en el rendimiento, el peso, el diámetro y la firmeza de los frutos, en comparación con las plantas que recibieron soluciones de riego con 0.6 mM de N (Tabla 1). Estos efectos son coherentes con los resultados presentados en el capítulo anterior, ya que las plantas que recibieron 6.0 mM de N presentaron un mayor desarrollo vegetativo y consecuentemente, tuvieron más altos

rendimientos, que las plantas que fueron irrigadas con soluciones con 0.6 mM de N. Estos resultados también son similares a los reportados por Davis & Strik, 2022 en Oregón, en una parcela experimental. Sin embargo, también se ha demostrado que la aplicación excesiva de N a este cultivo puede generar efectos negativos en el crecimiento vegetativo y en el rendimiento. En un estudio de 3 años, en plantas de arándano jóvenes en Polonia, se reportan incrementos en el rendimiento aumentando la concentración de N en el fertirriego hasta 10 mM y reducción del rendimiento cuando la concentración de este elemento en el fertirriego fue superior a 12 mM (Jiménez-Zamora et al., 2016). Las aplicaciones superiores a 6.0 mM de N tampoco aumentaron el rendimiento en plantas jóvenes de arándanos en Nueva Jersey y cuando se aplicaron concentraciones mayores a 24 mM fueron perjudiciales para la producción temprana de frutos (Messiga et al., 2021). El incremento observado en el diámetro del fruto, en las plantas que recibieron 6.0 mM de N, es coherente con lo reportado previamente en la literatura en el arándano ojo de conejo (Wani et al., 2017). De igual manera, el incremento en la firmeza del fruto observado en este trabajo (Tabla 1), por el aumento de la disponibilidad de N, es similar a lo reportado por Lobos & Hancock, 2015 en un cultivo de arándano de 4 años. Se ha reportado que la firmeza de la fruta aumenta de manera constante al incrementar la fertilización nitrogenada, mientras que el tamaño de la baya varía según las condiciones ambientales; no obstante, esta variabilidad se controla cuando se produce en invernadero (Tuttle & Sc, 2022) como fue en este trabajo.

Como se mencionó en el capítulo anterior, los resultados obtenidos en este trabajo hacen evidente que las plantas que recibieron 0.6 mM de N en la solución de riego, estuvieron en una condición de deficiencia de este elemento, lo que generó una reducción en el crecimiento vegetativo y, consecuentemente, una disminución en el rendimiento, el peso, el diámetro y la firmeza del fruto (Tabla 1). Sin embargo, los frutos de estas plantas

presentaron mejores valores en los parámetros químicos de calidad como: el contenido de sólidos solubles totales, la acidez titulable, el contenido de antocianinas, de flavonoides y de fenoles totales, así como en la actividad antioxidante (Tabla 1 y Tabla 2). Estos resultados son coherentes con reportes previos en la literatura especializada, en los que se demuestra que al reducir los aportes de N a este cultivo disminuye los parámetros asociados al rendimiento, pero los frutos presentan un aumento en el contenido de azúcares y antocianinas (Fang et al., 2020). El contenido de sólidos solubles totales está formado por compuestos orgánicos que determinan el sabor, el color y en general los atributos de calidad de los frutos (Naikoo et al., 2019). Durante el proceso de maduración hay un incremento en la actividad de las enzimas α -amilasa, β -amilasa y almidón fosforilasa, lo que produce como resultado la hidrólisis del almidón (T. Zhang et al., 2018), al darse este proceso de degradación, se generan azúcares solubles, incrementando el contenido de sólidos solubles totales en el fruto (X. Wang et al., 2019). De acuerdo con Alfaro y colaboradores (2018), los frutos de arándano con contenidos de sólidos solubles totales entre 11% y 12% se encuentran dentro de un rango aceptable y reúnen las cualidades organolépticas deseadas para su comercialización. Otros autores mencionan que como requisito para cosechar frutos de este cultivo es necesario un contenido de sólidos solubles totales entre 12% y 14% (Viencz et al., 2021). En este trabajo las plantas que recibieron 6.0 mM de N en la solución de riego presentaron valores alrededor de 11% en el contenido de sólidos solubles totales, mientras que las que recibieron 0.6 mM de N presentaron valores superiores a 14% (Tabla 1); estos valores son mayores a los reportados por Davis & Strik, (2022), de 10.6% -13.2%. Una baja relación de sólidos solubles y acidez titulable está asociada con una buena calidad de la fruta, la cual está vinculada a buenos niveles de radiación solar, temperatura y transpiración de los frutos (Clark & Zheng, 2020). Una adecuada relación de sólidos solubles y acidez titulable es una medida preponderante que está íntimamente relacionada con la calidad de la fruta para su transporte a largas distancias (de

Oliveira et al., 2019). Algunos investigadores han sugerido que esta relación es importante para definir las diferencias de calidad entre cultivares, mientras que otros indican que la calidad de los frutos puede mejorarse incrementando el contenido total de azúcares y compuestos (Jia et al., 2019). El contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en los frutos de arándano representan parámetros de calidad muy importantes, ya que han demostrado ser beneficiosos para la salud humana (Kang et al., 2017). Los frutos de las plantas que recibieron 0.6 mM de N presentaron niveles de compuestos fenólicos totales, antocianinas y actividad antioxidante significativamente más altos, en comparación con los de las plantas de los tratamientos de N a 6 mM (Tabla 2).

En el capítulo anterior se mostró que la aplicación foliar de 24-EBL aumenta el crecimiento de las plantas de arándano y que los incrementos están directamente relacionados con la concentración de esta hormona en la solución de aspersión. En congruencia, y consecuentemente, con estos resultados en este capítulo se muestran incrementos en el rendimiento y en los parámetros de calidad de los frutos de este cultivo por efecto de la aplicación foliar de 24-EBL (Tabla 1 y Tabla 2). En la literatura especializada no existen reportes relacionados con el efecto de esta hormona sobre el rendimiento y la calidad de los frutos de este cultivo. Sin embargo, algunas investigaciones han mostrado que la aplicación exógena de brasinólidos y sus análogos regula diferentes atributos de calidad en otras frutas y verduras (Nolan et al., 2020). Por ejemplo, en estudios realizados en uva se demostró que, al igual que este trabajo, la aplicación foliar de estas hormonas mejoró considerablemente el racimo, en atributos como peso y calibre de la baya (Ren et al., 2021). En esta misma especie, se demostró que la aplicación de brasinólidos favorecen el mantenimiento del color de la epidermis del fruto y aumenta el contenido de sólidos solubles totales, resultados similares a los observados en este estudio. Además, al igual que en este

trabajo, las aplicaciones foliares de brasinólidos en la vid, también aumentaron la pigmentación de la epidermis de la baya al incrementar la síntesis y acumulación de antocianinas, ácidos fenólicos, flavonoides, β -caroteno y ácido ascórbico (Kutschera & Wang, 2012). También se reportó una mayor acumulación de antocianinas en fresas tratadas con 24-EBL, efecto que también se observó en esta investigación (Y. Zhang & He, 2015).

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que el efecto de la aplicación foliar de 24-EBL sobre el rendimiento y la mayoría de los atributos de calidad del fruto, en el cultivo de arándano depende de la nutrición nitrogenada de las plantas. En la literatura especializada está bien establecido que los brasinólidos interactúan con diversas variables ambientales para mejorar la tolerancia de las plantas al estrés abiótico, optimizar su crecimiento y maximizar su rendimiento (Wani et al., 2017). Se sabe que interactúan positivamente con la nutrición nitrogenada al mejorar la absorción, asimilación y utilización de N, lo que resulta en un mayor crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos. Sin embargo, aunque esta interacción es especialmente útil en condiciones de estrés o baja disponibilidad de N, en este trabajo la aplicación de esta hormona no compensó la deficiencia de N en ninguna de las variables evaluadas.

CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos y a las condiciones en que se realizó la investigación, se puede concluir que las plantas fertirrigadas con soluciones nutritivas con 6.0 mM de N incrementaron el rendimiento, el tamaño, el peso y la firmeza del fruto, en comparación con las plantas que recibieron soluciones con 0.6 mM de N. Sin embargo, las plantas que recibieron soluciones nutritivas con 0.6 mM de produjeron frutos valores más altos en los atributos de calidad química como contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, antocianinas, flavonoides totales, fenoles totales y actividad antioxidante. La aplicación foliar de 24-EBL incrementó el rendimiento de las plantas y todos los parámetros de calidad evaluados. Sin embargo, en la mayoría de estas variables, este efecto depende de la nutrición nitrogenadas de las plantas.

REFERENCIAS: CAPITULO 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Capítulo 5:

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL

Discusión y Conclusión general

En el cultivo de arándano, la disponibilidad de nitrógeno (N) en las soluciones de fertirrigación y la aplicación de bioestimulantes foliares, en particular los brasinoesteroides (BRs), desempeñan un papel crucial en el desarrollo vegetal y la calidad del fruto. Este estudio evalúa los efectos combinados de diferentes concentraciones de nitrógeno y brasinoesteroides en plantas de arándano cultivadas en un sistema hidropónico bajo invernadero.

El crecimiento óptimo y el mejor desempeño vegetativo se observaron en plantas sometidas a fertirrigación con una dosis de 6 mM de nitrógeno combinada con 20 μ M de 24-epibrasinólido (24-EBL). Estos resultados coinciden con estudios previos que reportan respuestas favorables en el cultivo de arándanos con dosis de nitrógeno entre 9 mM y 18 mM. Respuestas similares han sido documentadas en otros cultivos como fresas y uvas cuando se han tratado con brasinoesteroides.

Es importante destacar que la eficacia del 24-EBL ha sido ampliamente investigada en condiciones de estrés abiótico, tales como déficit hídrico, salinidad y altas temperaturas. Estudios en maíz y trigo han demostrado que los BRs favorecen la supervivencia de las plantas en condiciones de baja disponibilidad de nutrientes.

Sin embargo, este estudio identificó que una dosis reducida de 0.6 mM de nitrógeno tuvo un impacto negativo significativo en el desarrollo comercial de las plantas de arándano. Además, la aplicación de 24-EBL no logró compensar completamente la baja disponibilidad de nitrógeno. Estos hallazgos contrastan con investigaciones en cítricos, donde se ha demostrado que altas concentraciones de 24-EBL pueden mitigar deficiencias nutricionales y mantener el desarrollo óptimo de las plantas.

Un posible factor que dificulta la observación del efecto de los BRs en condiciones de baja disponibilidad de nitrógeno en el cultivo de arándano es la fertirrigación continua desde la instalación del cultivo hasta la floración, lo que impide evaluar el impacto de los BRs en etapas tempranas de crecimiento. No obstante, los parámetros fotosintéticos se mantuvieron elevados en ambos tratamientos de disponibilidad de nitrógeno con la aplicación de 24-EBL.

La aplicación foliar de 24-EBL a una concentración de 10 μ M tuvo un efecto positivo en la acumulación de nitrógeno y compuestos fenólicos en las plantas. Esto sugiere que el 24-EBL mejora la absorción de nitrógeno, haciéndolo más biodisponible para el metabolismo secundario y los mecanismos de defensa de la planta ante estrés biótico y abiótico, más que para la síntesis de aminoácidos y proteínas.

En términos generales, este estudio demuestra que la aplicación foliar de 24-EBL mejora tanto el rendimiento como las propiedades de calidad de los arándanos frescos y almacenados. Se propone que la interacción sinérgica entre la aplicación de 24-EBL y la disponibilidad de nitrógeno a 6.0 mM contribuye al aumento del rendimiento.

Adicionalmente, los BRs mejoran el peso y tamaño del fruto, al tiempo que incrementan la concentración de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en las bayas. Sin embargo, se observó que los frutos sometidos a fertirrigación con 6 mM de nitrógeno sin tratamiento con BRs presentaron valores de firmeza ligeramente superiores, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Esto subraya el impacto positivo del 24-EBL en la calidad del fruto, sin afectar significativamente la firmeza.

Los estudios destacan la importancia de la fertirrigación con nitrógeno y la aplicación de brasinoesteroides en el cultivo de arándano. Se identificó que la dosis óptima para el crecimiento vegetal y la calidad del fruto es de 6 mM de nitrógeno combinado con 20 μ M de

24-EBL. Además, el 24-EBL contribuye a una mayor acumulación de nitrógeno y compuestos fenólicos, lo que fortalece la resistencia de la planta ante condiciones de estrés y mejora la calidad del fruto en términos de peso, tamaño y capacidad antioxidante.

Estos hallazgos abren la posibilidad de futuras investigaciones sobre el efecto de los BRs en condiciones de baja disponibilidad de nitrógeno en arándanos y otros cultivos, con el fin de optimizar las estrategias de fertilización y bioestimulación en la agricultura.

Capítulo 6:

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS

- A'saf, T. S., Al-Ajlouni, M. G., Ayad, J. Y., Othman, Y. A., & St Hilaire, R. (2020). Performance of six different soilless green roof substrates for the Mediterranean region. *The Science of the Total Environment*, 730(139182), 139182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139182>
- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82(3), 241–245. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00189-4](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00189-4)
- Acosta-Durán, C., Vázquez-Benítez, N., Villegas-Torres, O., Vence, L. B., & Acosta-Peñaloza, D. (2014). Vermicomposta como componente de sustrato en el cultivo de *Ageratum houstonianum* Mill. y *Petunia hybrida* E. Vilm. en contenedor. *Bioagro*, 26(2), 107-114. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85731100005.pdf>
- Ahammed, G. J., Choudhary, S. P., Chen, S., Xia, X., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2013). Role of brassinosteroids in alleviation of phenanthrene-cadmium co-contamination-induced photosynthetic inhibition and oxidative stress in tomato. *Journal of Experimental Botany*, 64(1), 199–213. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers323>
- Ahammed, G. J., He, B.-B., Qian, X.-J., Zhou, Y.-H., Shi, K., Zhou, J., Yu, J.-Q., & Xia, X.-J. (2017). 24-Epibrassinolide alleviates organic pollutants-retarded root elongation by promoting redox homeostasis and secondary metabolism in *Cucumis sativus* L. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 229, 922–931. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.076>
- Ahanger, M. A., Aziz, U., Sahli, A. al, Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Combined kinetin and spermidine treatments ameliorate growth and photosynthetic inhibition in *Vigna angularis* by up-regulating antioxidant and nitrogen metabolism under cadmium stress. *Biomolecules*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/biom10010147>
- Alfaro, L., Siramard, S., Chouljenko, A., & Sathivel, S. (2018). Effects of liquid nitrogen pretreatment on the osmotic dehydration and quality of cryogenically frozen blueberries (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Food Bioscience*, 22, 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.006>
- Ali, B. (2017). Practical applications of brassinosteroids in horticulture—Some field perspectives. *Scientia horticulturae*, 225, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.051>
- Ali, M. M., Anwar, R., Malik, A. U., Khan, A. S., Ahmad, S., Hussain, Z., Hasan, M. U., Nasir, M., & Chen, F. (2022). Plant growth and fruit quality response of strawberry is improved after exogenous application of 24-epibrassinolide. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4), 1786–1799. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10422-2>

Ali, M., Maqbool, M. A., Ahmad, R., & Rizwan, M. (2022). Brassinosteroids: A New Approach to Mitigate Heavy Metal Stress in Plants. In S. Hasanuzzaman, M. F. Hossain, & M. Pessarakli (Eds.), *Advances in Plant Ecophysiology Techniques* (pp. 309-328). Springer.

Ali, S. S., Kumar, G. B. S., Khan, M., & Doohan, F. M. (2013). Brassinosteroid enhances resistance to fusarium diseases of barley. *Phytopathology*, 103(12), 1260–1267. <https://doi.org/10.1094/PHTO-05-13-0111-R>

Anwar, A., Liu, Y., Dong, R., Bai, L., Yu, X., & Li, Y. (2018). The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. *Biological Research*, 51(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s40659-018-0195-2>

Arrington, M., & DeVetter, L. W. (2017). Foliar applications of calcium and boron do not increase fruit set or yield in northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 52(9), 1259–1264. <https://doi.org/10.21273/hortsci12207-17>

Ashraf, M., Akram, N. A., Arteca, R. N., & Foolad, M. R. (2010). The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(3), 162–190. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483580>

Ayub, R. A., & Pereira, A. B. (2022). Brassinosteroid Combined with Indolbutyric Acid in Blueberry Micropropagation. *Journal of Agricultural Science*, 14(5), 59. <https://doi.org/10.5539/jas.v14n5p59>

Babalık, Z., Demirci, T., Aşçı, Ö. A., & Baydar, N. G. (2020). Brassinosteroids Modify Yield, Quality, and Antioxidant Components in Grapes (*Vitis vinifera* cv. Alphonse Lavallée). *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(1), 147–156. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09970-5>

Bajguz, A., Hayat, S., & Hayat, Q. (2003). Brassinosteroids: a promising option in altering agronomic characters and boosting plant growth. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 39(6), 552-564.

Bannoud, F., & Bellini, C. (2021). Adventitious rooting in *Populus* species: Update and perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 12, 668837. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.668837>

Bañados, M. P., Strik, B. C., Bryla, D. R., & Righetti, T. L. (2012). Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, I: Accumulation and allocation of fertilizer nitrogen and biomass. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 47(5), 648–655. <https://doi.org/10.21273/hortsci.47.5.648>

Beaudry, R. (n.d.). Blueberry quality characteristics and how they can be optimized. <https://www.researchgate.net/publication/285702840>

Berezina, E. V., Brilkina, A. A., & Veselov, A. P. (2017). Content of phenolic compounds, ascorbic acid, and photosynthetic pigments in *Vaccinium macrocarpon* Ait. dependent on seasonal plant development stages and age (the example of introduction in Russia). *Scientia Horticulturae*, 218, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.020>

Bergonci, T., Ribeiro, B., Ceciliato, P. H. O., Guerrero-Abad, J. C., Silva-Filho, M. C., & Moura, D. S. (2014). *Arabidopsis thaliana* RALF1 opposes brassinosteroid effects on root cell elongation and lateral root formation. *Journal of Experimental Botany*, 65(8), 2219–2230. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru099>

Bian, Y., Ballington, J., Raja, A., Brouwer, C., Reid, R., Burke, M., Wang, X., Rowland, L. J., Bassil, N., & Brown, A. (2014). Patterns of simple sequence repeats in cultivated blueberries (*Vaccinium* section *Cyanococcus* spp.) and their use in revealing genetic diversity and population structure. *Molecular Breeding*, 34(2), 675–689. <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0066-7>

Bloomfield, K. J., Farquhar, G. D., & Lloyd, J. (2014). Photosynthesis-nitrogen relationships in tropical forest tree species as affected by soil phosphorus availability: a controlled environment study. *Functional Plant Biology: FPB*, 41(8), 820–832. <https://doi.org/10.1071/FP13278>

Blythe, E. K., Sibley, J. L., Ruter, J. M., & Tilt, K. M. (2004). Cutting propagation of foliage crops using a foliar application of auxin. *Scientia Horticulturae*, 103(1), 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.011>

Braha, S., Rama, P. (2018): Impact of the shoot maturity level on rooting, acclimatisation of green and semi-hardwood cuttings of the blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Bluecrop stimulated with Indol butyric Acid and Naphthalene Acetic Acid. *Agriculture and Forestry*, 64 (3): 79-87. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.3.07>

Bramley, R. G. V., & Ouzman, J. (2019). Farmer attitudes to the use of sensors and automation in fertilizer decision-making: nitrogen fertilization in the Australian grains sector. *Precision Agriculture*, 20(1), 157–175. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9589-y>

Bryla, D. R., & Strik, B. C. (2015). Nutrient requirements, leaf tissue standards, and new options for fertigation of northern highbush blueberry. *HortTechnology*, 25(4), 464–470. <https://doi.org/10.21273/horttech.25.4.464>

Burés, S. 1999. Introducción a los sustratos: aspectos generales. pp. 19-46. In: *Tecnología de sustratos: aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. J.N. Pastor S. (ed.). Universidad de Lleida. España

Butler, L. G., Price, M. L., & Brotherton, J. E. (1982). Vanillin assay for proanthocyanidins (condensed tannins): modification of the solvent for estimation of the degree of polymerization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30(6), 1087-1089.

Cao, P., Lu, C., & Yu, Z. (2018). Historical nitrogen fertilizer use in agricultural ecosystems of the contiguous United States during 1850-2015: Application rate, timing, and fertilizer types. *Earth System Science Data*, 10(2), 969–984. <https://doi.org/10.5194/essd-10-969-2018>

Cárdenas-Navarro, R., & López-Pérez, L. (2011). Propagación vegetativa de rosa: efecto del sustrato, luminosidad y permanencia de la hoja. *Scientia Agropecuaria*, 2(4), 203-211. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.04.02>

Castro-Restrepo, D., & Álvarez-Guzmán, J. A. (2013). Micropropagación clonal de tres genotipos mortíño, *Vaccinium meridionale* sw., por proliferación de yemas axilares. *Actualidades Biológicas*, 35(99), 145-160.

Chaiwanon, J., & Wang, Z. Y. (2015). Spatiotemporal brassinosteroid signaling and antagonism with auxin pattern stem cell dynamics in *Arabidopsis* roots. *Current Biology*, 25(8), 1031–1042. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.02.046>

Chan, C., Nelson, P. R., Hayes, D. J., Zhang, Y. J., & Hall, B. (2021). Predicting water stress in wild blueberry fields using airborne visible and near infrared imaging spectroscopy. *Remote Sensing*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/rs13081425>

Chávez-González, J. L., López-Pérez, L., España-Boquera, M. L., Pedraza-Santos, M. E., Rebollar-Alviter, Á., & Cárdenas-Navarro, R. (2023). 24-Epibrasinólido (24-EBL) como inductor de enraizamiento de esquejes de arándano azul en diferentes sustratos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(1), 63-74. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.3115>

Chávez, J. L., Torres-Rua, A. F., Woldt, W. E., Zhang, H., Robertson, C., Marek, G. W., Wang, D., Heeren, D. M., Taghvaeian, S., & Neale, C. M. U. (2020). A decade of unmanned aerial systems in irrigated agriculture in the Western U.S. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 36(4), 423–436. <https://doi.org/10.13031/aea.13941>

Chen, S., Waghmode, T. R., Sun, R., Kuramae, E. E., Hu, C., & Liu, B. (2019). Root-associated microbiomes of wheat under the combined effect of plant development and nitrogen fertilization. *Microbiome*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0750-2>

Choudhary, S. P., Kanwar, M., Bhardwaj, R., Yu, J.-Q., & Tran, L.-S. P. (2012). Chromium stress mitigation by polyamine-brassinosteroid application involves phytohormonal and physiological strategies in *Raphanus sativus* L. *PloS One*, 7(3), e33210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033210>

Clark, M. J., & Zheng, Y. (2020). Fertilization methods for organic and conventional potted blueberry plants. *HortScience*, 55(3), 304–309. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14416-19>

Clouse, S. D. (2016). Brassinosteroid Signal Transduction: From Receptor Kinase Activation to Transcriptional Networks Regulating Plant Development. *Plant Cell*, 28(3), 413–425.

Clouse, S. D., & Sasse, J. M. (1998). BRASSINOSTEROIDS: Essential Regulators of Plant Growth and Development. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1), 427-451.

Çoban, Ö., & Göktürk Baydar, N. (2016). Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. *Industrial Crops and Products*, 86, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.049>

Crespo Crespo González, M. R., González Eguarte, D. R., Rodríguez Macías, R., Ruiz Corral, J. A., & Durán Puga, N. (2018). Caracterización química y física del bagazo de agave tequilero compostado con biosólidos de vinaza como componente de sustratos para cultivos en contenedor. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 34(3), 373-382. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.01>

Dalio, R. J. D., Pinheiro, H. P., Sodek, L., & Haddad, C. R. B. (2013). 24-epibrassinolide restores nitrogen metabolism of pigeon pea under saline stress. *Botanical Studies (Taipei, Taiwan)*, 54(1), 9. <https://doi.org/10.1186/1999-3110-54-9>

Datos sobre alimentación y agricultura: Producción de cultivos (2022) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/#datos/controldecalidad>. Consultado el 09 de febrero de 2022

Davis, A. J., & Strik, B. C. (2022). Long-term Effects of Pre-plant Incorporation with Sawdust, Sawdust Mulch, and Nitrogen Fertilizer Rate on 'Elliott' Highbush Blueberry. *HortScience*, 57(3), 414–421. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16359-21>

De Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26, 37–44. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1972.26.5>

de Oliveira, V. P., Lima, M. D. R., da Silva, B. R. S., Batista, B. L., & da Silva Lobato, A. K. (2019). Brassinosteroids Confer Tolerance to Salt Stress in *Eucalyptus urophylla* Plants Enhancing Homeostasis, Antioxidant Metabolism and Leaf Anatomy. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(2), 557–573. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9870-3>

Devetter, L. W., Granatstein, D., Kirby, E., & Brady, M. (n.d.). Opportunities and Challenges of Organic Highbush Blueberry Production in Washington State ADDITIONAL INDEX WORDS. *Vaccinium corymbosum*, regional production, organic production, conventional production, marketing.

Díaz, L. A., Fischer, G., & Pulido, S. P. (2012). La fibra de coco como sustituto de la turba en la obtención de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(2), 153-162. <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i2.1236>

Divi, U. K., Rahman, T., & Krishna, P. (2010). Brassinosteroid-mediated stress tolerance in *Arabidopsis* shows interactions with abscisic acid, ethylene and salicylic acid pathways.

BMC Plant Biology, 10(1), 151.

Dogterom, M. H., Winston, M. L., & Mukai, A. (2000). Effect of pollen load size and source (self, outcross) on seed and fruit production in highbush blueberry cv. "Bluecrop" (*Vaccinium corymbosum*; Ericaceae). *American Journal of Botany*, 87(11), 1584–1591. <https://doi.org/10.2307/2656734>

Domínguez-Valdivia, M. D., Aparicio-Tejo, P. M., Lamsfus, C., Cruz, C., Martins-Loução, M. A., & Moran, J. F. (2008). Nitrogen nutrition and antioxidant metabolism in ammonium-tolerant and -sensitive plants. *Physiologia Plantarum*, 132(3), 359–369. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01022.x>

Dos Santos, L. R., da Silva, B. R. S., Pedron, T., Batista, B. L., & Lobato, A. K. da S. (2020). 24-epibrassinolide improves root anatomy and antioxidant enzymes in soybean plants subjected to zinc stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1), 105–124. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00105-z>

Ertani, A., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tinti, A., & Nardi, S. (2016). Biological activity of vegetal extracts containing phenols on plant metabolism. *Molecules*, 21(2). <https://doi.org/10.3390/molecules21020205>

Fang, Y., Nunez, G. H., da Silva, M. N., Phillips, D. A., & Munoz, P. R. (2020). A review for southern highbush blueberry alternative production systems. In *Agronomy* (Vol. 10, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10101531>

Fariduddin, Q., Ahmed, M., Mir, B. A., Yusuf, M., & Khan, T. A. (2015). 24-epibrassinolide mitigates the adverse effects of manganese induced toxicity through improved antioxidant system and photosynthetic attributes in *Brassica juncea*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(15), 11349–11359. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4339-4>

Fernandez-Salvador, J. A., Strik, B. C., & Stephenson, G. O. (2017). The organic blueberry industry in Oregon: Results of inperson, on-site interviews with growers in 2015. *Acta Horticulturae*, 1180, 409–414. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1180.57>

Freitas, S. de J., Santos, P. C. dos, Carvalho, A. J. C. de, Berilli, S. da S., & Gomes, M. de M. de A. (2012). Brassinosteroide e adubação nitrogenada no crescimento e estado nutricional de mudas de abacaxizeiro provenientes do seccionamento de caule. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(2), 612–618. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452012000200037>

Furio, E., Collonnier, C., Doulbeau, S., Rouzet, J., Gonzalez, N., Morel, J. B., & Peeters, N. (2022). Unveiling the molecular basis of the root response to brassinosteroids using natural variation in *Arabidopsis*. *Scientific Reports*, 12(1), 1–15.

Furio, R. N., Salazar, S. M., Mariotti-Martínez, J. A., Martínez-Zamora, G. M., Coll, Y., &

Díaz-Ricci, J. C. (2022). Brassinosteroid Applications Enhance the Tolerance to Abiotic Stresses, Production and Quality of Strawberry Fruits. *Horticulturae*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070572>

Gao, H., Zhang, Z., Lv, X., Cheng, N., Peng, B., & Cao, W. (2016). Effect of 24-epibrassinolide on chilling injury of peach fruit in relation to phenolic and proline metabolisms. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.031>

Giongo, L., Poncetta, P., Loretto, P., & Costa, F. (2013). Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.004>

Gómez Merino, F. C.; Trejo Téllez, L. I.; García Albarado, J. C.; Morales Ramos, V. 2013. Lulo (*Solanum quiroense* Lamarck). como nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 877-887. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342013000900002&lng=es&nrm=iso

Gruszka, D. (2013). The brassinosteroid signaling pathway-new key players and interconnections with other signaling networks crucial for plant development and stress tolerance. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 14, Issue 5, pp. 8740–8774). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms14058740>

Guo, X., Li, S., Wang, D., Huang, Z., Sarwar, N., Mubeen, K., Shakeel, M., & Hussain, M. (2021). Effects of water and fertilizer coupling on the physiological characteristics and growth of rabbiteye blueberry. *PLoS ONE*, 16(7 July). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254013>

Gupta, P., Srivastava, S., & Seth, C. S. (2017). 24-Epibrassinolide and Sodium Nitroprusside alleviate the salinity stress in *Brassica juncea* L. cv. Varuna through cross talk among proline, nitrogen metabolism and abscisic acid. *Plant and Soil*, 411(1–2), 483–498. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3043-6>

Gupta, S., Pandey, S., & Gupta, M. (2022). Brassinosteroids: A Boon for Sustainable Agriculture. In M. Goyal, S. K. Goyal, & R. Sharma (Eds.), *Plant Growth Regulators for Sustainable Agriculture and Environmental Stewardship* (pp. 225-250). Springer.

Hacham, Y., Holland, N., Butterfield, C., Ubeda-Tomas, S., Bennett, M. J., Chory, J., & Savaldi-Goldstein, S. (2011). Brassinosteroid perception in the epidermis controls root meristem size. *Development*, 138(5), 839–848. <https://doi.org/10.1242/dev.061804>

Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T., & Okuda, T. (1988). Two new flavonoids and other constituents in licorice root: their relative astringency and radical scavenging effects. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 36(6), 2090-2097.

Hayes, S. (2019). Bracing for water stress: Brassinosteroid signaling promotes drought survival in wheat. In *Plant Physiology* (Vol. 180, Issue 1, pp. 18–19). American Society of Plant Biologists. <https://doi.org/10.1104/pp.19.00314>

He, Y., Zhang, H., Sun, Z., Li, J., Hong, G., Zhu, Q., Zhou, X., MacFarlane, S., Yan, F., & Chen, J. (2017). Jasmonic acid-mediated defense suppresses brassinosteroid-mediated susceptibility to Rice black streaked dwarf virus infection in rice. *New Phytologist*, 214(1), 388–399. <https://doi.org/10.1111/nph.14376>

Hu, Y., Xia, S., Su, Y., Wang, H., Luo, W., Su, S., & Xiao, L. (2016). Brassinolide Increases Potato Root Growth in Vitro in a Dose-Dependent Way and Alleviates Salinity Stress. *BioMed Research International*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/8231873>

Hung, C. D., & Trueman, S. J. (2012). Cytokinin concentrations for optimal micropropagation of *Corymbia torelliana* × *C. citriodora*. *Australian Forestry*, 75(4), 233–237. <https://doi.org/10.1080/00049158.2012.10676407>

Hussain, A., Nazir, F., & Fariduddin, Q. (2019). 24-epibrassinolide and spermidine alleviate Mn stress via the modulation of root morphology, stomatal behavior, photosynthetic attributes and antioxidant defense in *Brassica juncea*. *Physiology and Molecular Biology of Plants: An International Journal of Functional Plant Biology*, 25(4), 905–919. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00672-6>

Hussain, M. A., Fahad, S., Sharif, R., Jan, M. F., Mujtaba, M., Ali, Q., Ahmad, A., Ahmad, H., Amin, N., Ajayo, B. S., Sun, C., Gu, L., Ahmad, I., Jiang, Z., & Hou, J. (2020). Multifunctional role of brassinosteroid and its analogues in plants. *Plant Growth Regulation*, 92(2), 141–156. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00647-8>

Jaillais, Y., & Vert, G. (2016). Brassinosteroid signaling and BRI1 dynamics went underground. In *Current Opinion in Plant Biology* (Vol. 33, pp. 92–100). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.014>

Jia, H., Shu, Q., & Wang, L. (2019). Brassinosteroid Biosynthesis and Inactivation in Developing Grains of Rice. *New Phytologist*, 225(5), 1988–2003.

Jia, Z., Giehl, R. F. H., Meyer, R. C., Altmann, T., & von Wirén, N. (2019). Natural variation of BSK3 tunes brassinosteroid signaling to regulate root foraging under low nitrogen. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10331-9>

Jiang, Y., Deyholos, M. K., & Wang, Y. (2021). Comprehensive Analysis of the Brassinosteroid-Induced Genes in *Arabidopsis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3430.

Jiménez-Zamora, A., Delgado-Andrade, C., & Rufián-Henares, J. A. (2016). Antioxidant capacity, total phenols and color profile during the storage of selected plants used for infusion. *Food Chemistry*, 199, 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.019>

Kang, Y. H., Breda, A., & Hardtke, C. S. (2017). Brassinosteroid signaling directs formative cell divisions and protophloem differentiation in Arabidopsis root meristems. *Development (Cambridge)*, 144(2), 272–280. <https://doi.org/10.1242/dev.145623>

Karlıdag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2011). Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 130(1), 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.025>

Kir, S., Tunc, S., & Soyulu, S. (2017). Effect of brassinosteroid on growth, yield, fruit quality and leaf properties of strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch.) grown under different irrigation regimes. *Erwerbs-Obstbau*, 59(2), 135-141.

Kováčik, J., & Bačkor, M. (2007). Changes of phenolic metabolism and oxidative status in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* plants. *Plant and Soil*, 297(1–2), 255–265. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9346-x>

Kutschera, U. (2020). The Physiological Effects of Brassinosteroids: An Update. *Biomolecules*, 10(3), 429.

Kutschera, U., & Wang, Z. Y. (2012). Brassinosteroid action in flowering plants: A Darwinian perspective. In *Journal of Experimental Botany* (Vol. 63, Issue 10, pp. 3511–3522). <https://doi.org/10.1093/jxb/ers065>

Leitner, D., Felderer, B., Vontobel, P., & Schnepf, A. (2014). Recovering root system traits using image analysis exemplified by two-dimensional neutron radiography images of lupine. *Plant Physiology*, 164(1), 24–35. <https://doi.org/10.1104/pp.113.227892>

Li, Q. F., Wang, C., Jiang, L., & Li, S. (2018). A Comprehensive Review of the Brassinosteroid Biosynthesis Pathway in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1411.

Li, Y., Wang, Y., Li, M., & Yang, J. (2019). Brassinosteroids-Mediated Root Development and the Interplay with Plant Hormones. *Frontiers in Plant Science*, 10, 996.

Li, Y., Wu, Y., Liao, W., Hu, L., Dawuda, M. M., Jin, X., Tang, Z., Yang, J., & Yu, J. (2020). Nitric oxide is involved in the brassinolide-induced adventitious root development in cucumber. *BMC Plant Biology*, 20(1), 102. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2320-y>

Linton, N. F., Ferrari Machado, P. V., Deen, B., Wagner-Riddle, C., & Dunfield, K. E. (2020). Long-term diverse rotation alters nitrogen cycling bacterial groups and nitrous oxide emissions after nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107917>

Litke, L., Gaile, Z., & Ruža, A. (2018). Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. *Agronomy Research*, 16(2), 500–509. <https://doi.org/10.15159/AR.18.064>

Lobos, G. A., & Hancock, J. F. (2015). Breeding blueberries for a changing global environment: A review. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 6, Issue SEPTEMBER). Frontiers Research Foundation. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00782>

Luna Fletes, J.A., Cruz C., E., Can-C. A. (2021). Pumice stone, tezontle and nutritive solutions in the cultivation of Cherry tomato. *Terra Latinoam*, 39: 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>

Machado, R. M. A., Bryla, D. R., & Vargas, O. (2014). Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. *Acta Horticulturae*, 1017, 407–414. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1017.49>

Marty, C., Lévesque, J. A., Bradley, R. L., Lafond, J., & Paré, M. C. (2019). Contrasting impacts of two weed species on lowbush blueberry fertilizer nitrogen uptake in a commercial field. *PLoS ONE*, 14(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215253>

Merhaut, D. J., & Darnell, R. L. (1996). Vegetative growth and nitrogen/carbon partitioning in blueberry as influenced by nitrogen fertilization. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. American Society for Horticultural Science, 121(5), 875–879. <https://doi.org/10.21273/jashs.121.5.875>

Messiga, A. J., Haak, D., & Dorais, M. (2018). Blueberry yield and soil properties response to long-term fertigation and broadcast nitrogen. *Scientia Horticulturae*, 230, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.019>

Messiga, A. J., Nyamaizi, S., Yu, S., & Dorais, M. (2021). Blueberry yield and soil mineral nitrogen response to nitrogen fertilizer and nitrification inhibitors under drip-fertigation systems. *Agronomy*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy11112144>

Mikulic-Petkovsek, M., Schmitzer, V., Slatnar, A., Stampar, F., & Veberic, R. (2012). Composition of Sugars, Organic Acids, and Total Phenolics in 25 Wild or Cultivated Berry Species. *Journal of Food Science*, 77(10). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02896.x>

Morvan, S., Meglouli, H., Lounès-Hadj Sahraoui, A., & Hijri, M. (2020). Into the wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) rhizosphere microbiota. *Environmental Microbiology*, 22(9), 3803–3822. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15151>

Mouchel, C. F., Osmont, K. S., & Hardtke, C. S. (2006). BRX mediates feedback between brassinosteroid levels and auxin signalling in root growth. *Nature*, 443(7110), 458–461. <https://doi.org/10.1038/nature05130>

Müssig, C., Shin, G. H., & Altmann, T. (2003). Brassinosteroids promote root growth in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 133(3), 1261–1271.

Naikoo, M. I., Dar, M. I., Raghib, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, F. A., & Naushin,

F. (2019). Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance: An overview. In *Plant Signaling Molecules: Role and Regulation under Stressful Environments* (pp. 157–168). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5>

Nakashita, H., Yasuda, M., Nitta, T., Asami, T., Fujioka, S., & Arai, Y. (2003). Brassinosteroid functions in a broad range of disease resistance in tobacco and rice. *The Plant Journal*, 33(5), 887-898.

Nolan, T. M., Vukasinović, N., Liu, D., Russinova, E., & Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: Multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *Plant Cell*, 32(2), 298–318. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00335>

Nolan, T., Chen, J., Yin, Y., & Wang, X. (2020). Brassinosteroids: Multidimensional Regulators of Plant Growth, Development, and Stress Responses. *Plant Cell*, 32(2), 295–318.

Ochmian, I., Oszmiański, J., Jaśkiewicz, B., & Szczepanek, M. (2018). Soil and highbush blueberry responses to fertilization with urea phosphate. *Folia Horticulturae*, 30(2), 295–305. <https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0025>

Osorio, R., Cáceres, C., & Covarrubias, J. I. (2020). Vegetative and physiological responses of “Emerald” blueberry to ammoniacal sources with a nitrification inhibitor. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 507-515. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00135-7>

Ouyang, Y., Evans, S. E., Friesen, M. L., & Tiemann, L. K. (2018). Effect of nitrogen fertilization on the abundance of nitrogen cycling genes in agricultural soils: A meta-analysis of field studies. *Soil Biology and Biochemistry*, 127, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.08.024>

Pagani, A., Molinari, J., Lavado, R., & Di Benedetto, A. (2015). Behavior of *Impatiens wallerana* Hook. f. in alternative pot substrates: Mechanisms involved and research perspectives. *Journal of Plant Nutrition*, 38(14), 2185–2203. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.988357>

Pardo Giménez, A., & Pardo-González, J. E. (2008). Evaluation of casing materials made from spent mushroom substrate and coconut fibre pith for use in production of *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. *Revista de Investigacion Agraria [Spanish Journal of Agricultural Research]*, 6(4), 683. <https://doi.org/10.5424/sjar/2008064-361>

Pego, R. G., Fiorini, C. V. A., Machado, A. F. L., & Gomes, M. V. S. (2019). Propagation of *Streptosolen jamesonii* (Benth.) Miers by stem cutting treated with IBA in different substrates. *Ornamental Horticulture*, 25(1), 26–33. <https://doi.org/10.14295/oh.v25i1.1184>

Percival, D., Thyssen, G., Sanderson, K., & Burton, D. (2005). Environmental losses of soil-applied nitrogen sources in lowbush blueberry production. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 40(4), 1132A – 1132.

<https://doi.org/10.21273/hortsci.40.4.1132a>

Pervin, M., Hasnat, M. A., & Lim, B. O. (2013). Antibacterial and antioxidant activities of *Vaccinium corymbosum* L leaf extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 3(6), 444–453. [https://doi.org/10.1016/s2222-1808\(13\)60099-7](https://doi.org/10.1016/s2222-1808(13)60099-7)

Planas-Riverola, A., Gupta, A., Betegón-Putze, I., Bosch, N., Ibañes, M., Caño-Delgado, A. I., & Vilarrasa-Blasi, J. (2019). Brassinosteroid signaling in plant development and adaptation to stress. *Development*, 146(12), dev151894.

Putrino, F. M., Tedesco, M., Bodini, R. B., & Oliveira, A. L. de. (2020). Study of supercritical carbon dioxide pretreatment processes on green coconut fiber to enhance enzymatic hydrolysis of cellulose. *Bioresource Technology*, 309(123387), 123387. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123387>

Ren, Y., Che, X., Liang, J., Wang, S., Han, L., Liu, Z., Chen, H., & Tang, M. (2021). Brassinosteroids Benefit Plants Performance by Augmenting Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. <https://journals.asm.org/journal/spectrum>

Riihinen, K., Jaakola, L., Kärenlampi, S., & Hohtola, A. (2008). Organ-specific distribution of phenolic compounds in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and “northblue” blueberry (*Vaccinium corymbosum* x *V. angustifolium*). *Food Chemistry*, 110(1), 156–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.057>

Rodriguez-Saona, C., Vincent, C., & Isaacs, R. (2019). Blueberry IPM: Past successes and future challenges. In *Annual Review of Entomology* (Vol. 64). <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011118-112147>

Ronen R y Galun M (1984). Pigment extraction from liquens with dimethylsulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. *Environmental and Experimental Botany*, 24:239-245.

Sadzawka, A., Carrasco, M., Demanet, R., Flores, H., Grez, R., Mora, ML y Neaman, A. (2007). *Metodos de analisis de tejidos vegetales*. Serie Actas INIA, 40, 140.

Sakamoto, T., Morinaka, Y., Ohnishi, T., Sunohara, H., Fujioka, S., Ueguchi-Tanaka, M., Mizutani, M., Sakata, K., Takatsuto, S., Yoshida, S., Tanaka, H., Kitano, H., & Matsuoka, M. (2006). Erect leaves caused by brassinosteroid deficiency increase biomass production and grain yield in rice. *Nature Biotechnology*, 24(1), 105–109. <https://doi.org/10.1038/nbt1173>

Sánchez-Córdova, T., Aldrete, A., Cetina-Alcalá, V. M., & López-Upton, J. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques*, 14(2), 41-49.

Santa, J. D., Berdugo-Cely, J., Cely-Pardo, L., Soto-Suárez, M., Mosquera, T., & Galeano, C. H. M. (2018). QTL analysis reveals quantitative resistant loci for *Phytophthora infestans*

and *Tecia solanivora* in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.). PLoS ONE, 13(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199716>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, S. (SADER). Cultivo del arándano en México, reto superado. gob.mx. Recuperado el 14 de junio de 2022, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-del-arandano-en-mexico-reto-superado>

Serna, M., Hernández, F., Coll, F., & Amorós, A. (2012). Brassinosteroid analogues effect on yield and quality parameters of field-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia Horticulturae*, 143, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.019>

Shah, R., Ullah, A., & Siddique, M. H. (2021). Brassinosteroids: A Tool to Manage Crop Growth and Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 12, 649969.

Shu, H., Ni, W., Guo, S., Gong, Y., Shen, X., Zhang, X., Xu, P., & Guo, Q. (2015). Root-applied brassinolide can alleviate the NaCl injuries on cotton. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(4). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1823-x>

Singh, B. (2018). Are Nitrogen Fertilizers Deleterious to Soil Health? In *Agronomy* (Vol. 8, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy8040048>

Singh, S., Agrawal, S. B., & Agrawal, M. (2015). Responses of pea plants to elevated UV-B radiation at varying nutrient levels: N-metabolism, carbohydrate pool, total phenolics and yield. *Functional Plant Biology*, 42(11), 1045–1056. <https://doi.org/10.1071/FP15003>

Singleton V., Rossi. J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal Enology Viticulture*, 16: 144-158.

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, S. (s/f). Panorama Agroalimentario 2021. gob.mx. Recuperado el 20 de noviembre de 2021, de <https://www.gob.mx/siap/documentos/panorama-agroalimentario-2021>

Soliman, M., Elkelish, A., Souad, T., Alhaithloul, H., & Farooq, M. (2020). Brassinosteroid seed priming with nitrogen supplementation improves salt tolerance in soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants: An International Journal of Functional Plant Biology*, 26(3), 501–511. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00765-7>

Stickler, FC, Wearden, S. y Pauli, AW (1961). Determinación del área foliar en grano de sorgo 1. *Agronomy Journal*, 53 (3), 187-188.

Strik, B. C., Vance, A., Bryla, D. R., & Sullivan, D. M. (2019). Organic production systems in northern highbush blueberry: II. Impact of planting method, cultivar, fertilizer, and mulch on leaf and soil nutrient concentrations and relationships with yield from planting through maturity. *HortScience: A Publication of the American Society for Horticultural Science*, 54(10), 1777–1794. <https://doi.org/10.21273/hortsci14197-19>

Sun, L., Feraru, E., Feraru, M. I., Waidmann, S., Wang, W., Passaia, G., Wang, Z.-Y., Wabnik, K., & Kleine-Vehn, J. (2020). PIN-LIKES coordinate brassinosteroid signaling with nuclear auxin input in *Arabidopsis thaliana*. *Current Biology: CB*, 30(9), 1579-1588.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.02.002>

Sun, Y., Alseekh, S., & Fernie, A. R. (2023). Plant secondary metabolic responses to global climate change: A meta-analysis in medicinal and aromatic plants. *Global Change Biology*, 29(2), 477–504. <https://doi.org/10.1111/gcb.16484>

Symons, G. M., Davies, C., Shavrukov, Y., Dry, I. B., Reid, J. B., & Thomas, M. R. (2006). Grapes on Steroids. Brassinosteroids Are Involved in Grape Berry Ripening. *Plant Physiology*, 140(1), 150–158.

Tanveer, M., Shahzad, B., Sharma, A., & Khan, E. A. (2019). 24-Epibrassinolide application in plants: An implication for improving drought stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.013>

Tennakoon, K. M. S., Ridgway, H. J., Jaspers, M. v., & Jones, E. E. (2018). Factors affecting *Neofusicoccum ribis* infection and disease progression in blueberry. *European Journal of Plant Pathology*, 151(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1355-x>

Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Kaveeta, L., Chai-arree, W., Pankean, P., Homvisasevongsa, S., & Suksamrarn, A. (2015). Comparative effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on improving photosynthesis, lipid peroxidation, and rice seed set under heat stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(2), 320–331. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9467-4>

Travica, N., D'Cunha, N. M., Naumovski, N., Kent, K., Mellor, D. D., Firth, J., Georgousopoulou, E. N., Dean, O. M., Loughman, A., Jacka, F., & Marx, W. (2020). The effect of blueberry interventions on cognitive performance and mood: A systematic review of randomized controlled trials. In *Brain, Behavior, and Immunity* (Vol. 85, pp. 96–105). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.04.001>

Tuttle, S., & Sc, B. (2022). Pollination Services from Wild *Bombus* sp. and Inter-varietal Pollination Can Help Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Growers Achieve Maximal Yield.

Unterholzner, S. J., Rozhon, W., Papacek, M., & Poppenberger, B. (2015). Brassinosteroids: An Update on Biosynthesis, Perception and Signal Transduction. In T. P. J. (Ed.), *Annual Plant Reviews Online* (Vol. 3, pp. 1-33). Wiley-Blackwell.

Ur Rahman, S., Li, Y., Hussain, S., Hussain, B., Khan, W. ud D., Riaz, L., Nadeem Ashraf, M., Athar Khaliq, M., Du, Z., & Cheng, H. (2023). Role of phytohormones in heavy metal tolerance in plants: A review. In *Ecological Indicators* (Vol. 146). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109844>

Vargas-Tapia, P., Castellanos-Ramos, J. Z., Sánchez-García, P., Tijerina-Chávez, L., López-Romero, R. M., & Ojodeagua-Arredondo, J. L. (2008). Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 375-375.

Vazquez, M. N., Guerrero, Y. R., de la Noval, W. T., Gonzalez, L. M., & Zullo, M. A. T. (2019). Advances on exogenous applications of brassinosteroids and their analogs to enhance plant tolerance to salinity: A review. *Australian Journal of Crop Science*, 13(1), 115–121. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.338566792578080>

Vello, V., Chu, W.-L., Lim, P.-E., Majid, N. A., & Phang, S.-M. (2018). Metabolomic profiles of tropical *Chlorella* species in response to physiological changes during nitrogen deprivation. *Journal of Applied Phycology*, 30(6), 3131–3151. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1504-4>

Vert, G., Walcher, C. L., & Chory, J. (2005). Nemhauser JL. Integration of auxin and brassinosteroid pathways by Auxin Response Factor 2. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(29), 1019–1024.

Vidya Vardhini, B. (2017). Modifications of morphological and anatomical characteristics of plants by application of brassinosteroids under various abiotic stress conditions - A review. *Plant Gene*, 11, 70–89. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.06.005>

Viencz, T., Santana, K., Ayub, R. A., & Botelho, R. V. (2021). Development, photosynthesis and yield of blueberry cultivar ‘climax’ growth with different substrates and nitrogen fertilization under protected cultivation. *Ciencia Rural*, 51(6). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190367>

Vilarrasa-Blasi, J., González-García, M. P., Frigola, D., Fàbregas, N., Alexiou, K. G., López-Bigas, N., ... & Caño-Delgado, A. I. (2014). Regulation of plant stem cell quiescence by a brassinosteroid signaling module. *Developmental Cell*, 30(1), 36–47.

Villegas-Monter, A., Castro-Garibay, S. L., & Castro-Garibay, S. L. (2019). Enraizamiento de estacas en tres cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L). *Agro Productividad*, 12(3). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1328>

Vriet, C., Russinova, E., & Reuzeau, C. (2012). Boosting Crop Yields with Plant Steroids. *Plant Cell*, 24(3), 842–857.

Wang, S.-Q., Zhao, H.-H., Zhao, L.-M., Gu, C.-M., Na, Y.-G., Xie, B., Cheng, S.-H., & Pan, G.-J. (2020). Application of brassinolide alleviates cold stress at the booting stage of rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(4), 975–987. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62639-0](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62639-0)

Wang, X., Fan, J., Xing, Y., Xu, G., Wang, H., Deng, J., Wang, Y., Zhang, F., Li, P., & Li, Z. (2019). The Effects of Mulch and Nitrogen Fertilizer on the Soil Environment of Crop Plants. In *Advances in Agronomy* (Vol. 153, pp. 121–173). Academic Press Inc.

<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.08.003>

Wang, Y., Ying, H., Yin, Y., Zheng, H., & Cui, Z. (2019). Estimating soil nitrate leaching of nitrogen fertilizer from global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 657, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.029>

Wang, Z. Y., Bai, M. Y., & Oh, E. (2021). Brassinosteroid Signaling Network and Regulation of Photomorphogenesis. *Annual Review of Genetics*, 55, 557–578.

Wang, Z. Y., Nakano, T., Gendron, J., He, J., Chen, M., Vafeados, D., et al. (2002). Nuclearlocalized BZR1 mediates brassinosteroid-induced growth and feedback suppression of brassinosteroid biosynthesis. *Dev. Cell* 2, 505–513. [https://doi.org/10.1016/S1534-5807\(02\)00153-3](https://doi.org/10.1016/S1534-5807(02)00153-3)

Wani, A. S., Tahir, I., Ahmad, S. S., Dar, R. A., & Nisar, S. (2017). Efficacy of 24-epibrassinolide in improving the nitrogen metabolism and antioxidant system in chickpea cultivars under cadmium and/or NaCl stress. *Scientia Horticulturae*, 225, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.063>

Xi, Z.-M., Zhang, Z.-W., Huo, S.-S., Luan, L.-Y., Gao, X., Ma, L.-N., & Fang, Y.-L. (2013). Regulating the secondary metabolism in grape berry using exogenous 24-epibrassinolide for enhanced phenolics content and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 141(3), 3056–3065. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.137>

Xiong, Q., Hu, J., Wei, H., Zhang, H., & Zhu, J. (2021). Relación entre las raíces de las plantas, los microorganismos de la rizosfera y el nitrógeno y su enfoque especial en el arroz. *Agricultura*, 11(3).

Xu, J., Fang, Y., Tavakkoli, E., Pan, X., Liao, F., Chen, W., & Guo, W. (2021). Preferential ammonium: nitrate ratio of blueberry is regulated by nitrogen transport and reduction systems. *Scientia Horticulturae*, 288(110345), 110345. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110345>

Yáñez-Mansilla, E., Cartes, P., Reyes-Díaz, M., Ribera-Fonseca, A., Rengel, Z., & Alberdi, M. (2015). Umbrales de nitrógeno foliar que aseguran altas características antioxidantes de los cultivares de *Vaccinium corymbosum*. *Revista de ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 15 (3), 574-586. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000025>

Ye, H., Li, L., & Yin, Y. (2011). Recent advances in the regulation of brassinosteroid signaling and biosynthesis pathways: Brassinosteroid signaling. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(6), 455–468. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2011.01046.x>

Yue, J., You, Y., Zhang, L., Fu, Z., Wang, J., Zhang, J. y Guy, RD (2019). La 24-epibrasinolida exógena alivia los efectos del estrés salino en los cloroplastos y la fotosíntesis en plántulas de *Robinia pseudoacacia* L. *Revista de Regulación del Crecimiento Vegetal*, 38 (2), 669-682.

Yusuf, M., Fariduddin, Q., Ahmad, I., & Ahmad, A. (2014). Brassinosteroid-mediated evaluation of antioxidant system and nitrogen metabolism in two contrasting cultivars of *Vigna radiata* under different levels of nickel. *Physiology and Molecular Biology of Plants: An International Journal of Functional Plant Biology*, 20(4), 449–460. <https://doi.org/10.1007/s12298-014-0259-x>

Zafari, M., Ebadi, A., Sedghi, M., & Jahanbakhsh, S. (2020). Alleviating effect of 24-epibrassinolide on seed oil content and fatty acid composition under drought stress in safflower. *Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems*, 92(103544), 103544. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103544>

Zhang, T., Shi, Y., Piao, F., & Sun, Z. (2018). Effects of different LED sources on the growth and nitrogen metabolism of lettuce. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 134(2), 231–240. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1415-8>

Zhang, W., Zhu, K., Wang, Z., Zhang, H., Gu, J., Liu, L., Yang, J., & Zhang, J. (2019). Brassinosteroids function in spikelet differentiation and degeneration in rice: Brassinosteroids and rice spikelet development. *Journal of Integrative Plant Biology*, 61(8), 943–963. <https://doi.org/10.1111/jipb.12722>

Zhang, Y., & He, J. (2015). Sugar-induced plant growth is dependent on brassinosteroids. *Plant Signaling and Behavior*, 10(12). <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1082700>

Zhang, Y., Liu, Z., Wang, Y., & Gu, M. (2023). Interactions of Brassinosteroids with Other Plant Hormones and Signaling Molecules: A Comprehensive Review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 785497.

Zhao, G., Xu, H., Zhang, P., Su, X., & Zhao, H. (2017). Effects of 2,4-epibrassinolide on photosynthesis and Rubisco activase gene expression in *Triticum aestivum* L. seedlings under a combination of drought and heat stress. *Plant Growth Regulation*, 81(3), 377–384. <https://doi.org/10.1007/s10725-016-0214-7>

Zhao, Z. B., He, J. Z., Geisen, S., Han, L. L., Wang, J. T., Shen, J. P., Wei, W. X., Fang, Y. T., Li, P. P., & Zhang, L. M. (2019). Protist communities are more sensitive to nitrogen fertilization than other microorganisms in diverse agricultural soils. *Microbiome*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0647-0>

Zheng, J., An, Y., & Wang, L. (2018). 24-Epibrassinolide enhances 5-ALA-induced anthocyanin and flavonol accumulation in calli of ‘Fuji’ apple flesh. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 134(2), 319–330. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1418-5>

Zhishen, J., Mengcheng, T., y Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry*, 64(4), 555–559.

Anexos

24-Epibrasinólido (24-EBL) como inductor de enraizamiento de esquejes de arándano azul en diferentes sustratos

Judith Libertad Chavez-Gonzalez¹

Luis Lopez-Perez¹

María Luisa España-Boquera¹

Martha Elena Pedraza-Santos²

Ángel Rebollar-Alviter³

Raúl Cárdenas-Navarro^{1§}

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales-Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Tarímbaro, Michoacán, México. CP. 58880. Tel. 443 3223500, ext. 5219. (1243772g@umich.mx; luis.lopez.perez@umich.mx; boquera@umich.mx). ²Facultad de Agrobiología 'Presidente Benito Juárez'-Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán, México. CP. 60170. Tel. 452 5236474. (martha.elena.pedraza@umich.mx). ³Centro Regional Morelia-Universidad Autónoma Chapingo. Morelia, Michoacán, México. CP. 58170. Tel. 443 3161489. (rebollaralviter@gmail.com).

§Autor para correspondencia: raul.cardenas@umich.mx.

Resumen

Los brasinoesteroides son fitohormonas esteroidales que se han utilizado ampliamente en la agricultura, se han realizado pocos estudios sobre el efecto que pueden tener para inducir la formación de raíces en esquejes de arándano (*Vaccinium corymbosum*). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del 24-epibrasinólido (24-EBL) a distintas concentraciones (0, 20, 40 y 60 $\mu\text{g L}^{-1}$) y del sustrato sobre el enraizamiento de esquejes, se utilizó mezcla de arena de río y tezontle (AT), turba (Peat Moss®) y perlita (PMP), mezcla de fibra de coco y perlita (FCP), turba (Peat Moss®) (PM) y fibra de coco (FC). Las variables evaluadas a los 30 días después de establecido del experimento, fueron porcentaje de supervivencia (%SE), porcentaje de esquejes enraizados (%ER), número de raíces por esqueje (NR), longitud de raíz principal (LRP) y longitud total del sistema radicular (LTR). Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey. Los resultados mostraron que los esquejes de arándano con 24-EBL a una concentración de 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ en sustrato de AT presentan 84.7% de supervivencia y 67.76% de esquejes enraizado. Los esquejes expuestos a 24-EBL a una concentración 40 y 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ insertada en sustrato de mezcla de AT presentaron una mayor longitud de raíz y más raíces por esqueje en comparación con otros sustratos. Se concluye que el 24-EBL induce la formación de raíces en esquejes de plantas de arándano en sustrato de AT.

Palabras clave: arándano azul, brasinoesteroide, esquejes, sustrato.

Recibido: octubre de 2022

Aceptado: enero de 2023

ARTÍCULO

El poder de los frutos rojos

Judith Libertad Chávez González y Raúl Cárdenas Navarro



Judith Libertad Chávez González. Estudiante del Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Biológicas, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 12437729@umich.mx

Raúl Cárdenas Navarro. Profesor-Investigador del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. rcardenasnavarro@gmail.com

¿Qué son los frutos rojos?

Comercialmente se puede encontrar una gran variedad de alimentos de origen vegetal, como frutos exóticos tropicales o del bosque, que se destacan por sus diferentes formas y colores. Dentro de esta gama resaltan los frutos rojos, los cuales se caracterizan por ser pequeñas bayas aromáticas, de sabor agridulce que poseen brillantes colores rojos, azules y violetas; crecen en arbustos silvestres del bosque, aunque actualmente se cultivan diversas variedades tanto en invernadero como en campo. La mayo-

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

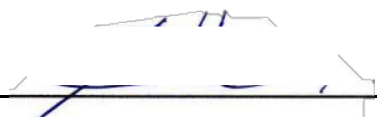
Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS	
Título del trabajo	EFECTO DEL 24-EPIBRASINÓLIDO EN LA PROPAGACIÓN, CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL FRUTO DEL ARÁNDANO (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.), CULTIVADO EN DIFERENTES CONDICIONES DE DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	MC JUDITH LIBERTAD CHÁVEZ GONZÁLEZ	1243772g@umich.mx
Director	DR. RAÚL CÁRDENAS NAVARRO	raul.cardenas@umich.mx
Codirector	NO APLICA	NO APLICA
Coordinador del programa	PAMELA NAVARRETE RAMIREZ	pamela.navarrete@umich.mx

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	
Traducción al español	SI	Se utilizó Google Traductor para traducir el ABSTRAC de la tesis
Traducción a otra lengua	NO	
Revisión y corrección de estilo	NO	
Análisis de datos	NO	
Búsqueda y organización de información	NO	
Formateo de las referencias bibliográficas	SI	Se utilizó aplicación Mendeley Reference Manager para la correcta redacción e importación de las referencias bibliográficas en formato APA 7ma edición.
Generación de contenido multimedia	NO	
Otro	NO	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	MC. Judith Libertad Chávez González 
Lugar y fecha	Morelia Mich. A 18 de marzo del año 2025

Judith Libertad Chávez González

EFECTO DEL 24-EPIBRASINÓLIDO EN LA PROPAGACIÓN, CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL FRUTO DEL AR...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:482261325

Fecha de entrega

12 ago 2025, 11:59 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

12 ago 2025, 12:05 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

EFECTO DEL 24-EPIBRASINÓLIDO EN LA PROPAGACIÓN, CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDADpdf

Tamaño de archivo

1.6 MB

138 Páginas

39.854 Palabras

212.607 Caracteres

29% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 27%  Fuentes de Internet
- 17%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
121 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.