

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-epibrasinolide (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

Introducción

El arando 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 2020, México se posicionó en el sexto lugar de producción con 50 293 t, 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 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 cinco 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, km 9.5, 58880, Tarímbaro, Michoacán. Con coordenadas geográficas: 19.7681622, - 101.1513041. Elevación 1 860 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 dos años. Estas secciones de tallo se desinfectaron por inmersión en hipoclorito de sodio a 35 ppm por 1 min, después se enjuagaron cinco veces con agua desionizada y se sumergieron en solución con fungicida (LucavFlow® 10 ml L⁻¹) por 1 min, finalmente se enjuagaron 10 veces con agua desionizada.

La parte basal de los esquejes (2 cm) se colocó durante 2 h en solución de 24-Epibrasinolide (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 30% de sombra y permite conservar una temperatura uniforme dentro del invernadero de 27 °C en promedio durante el día y una humedad relativa de 47%.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, con cuatro 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-Epibrasinolide (24-EBL) a concentración de 0.01 g L^{-1} . Esta solución se preparó disolviendo 10 mg de 24-EBL (Sigma-Aldrich Epibrasinolide, $\geq 85\%$) 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.

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 de 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 dS m^{-1} , una alta concentración de N de 0.84 g kg^{-1} , 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 de 95% , la densidad aproximada es 0.12 kg L^{-1} .

Respecto a los resultados obtenidos para la mezcla de PMP es un sustrato con efectos de salinidad muy bajos (CE) de 0.1 dS m^{-1} , como mencionan Sánchez *et al.* (2008) una alta concentración de N de 1 g kg^{-1} , 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) (Cuadro 1).

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

Sustrato	CE (dS m^{-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 relación 2:1 (V/V); AT= mezcla de arena de río + tezontle en relación 1:1 (V/V); CE= conductividad eléctrica; N= nitrógeno (g kg^{-1}); P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio (ppm).

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 de 43.3% (Cuadro 2).

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

Sustrato	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Densidad real (g cm ⁻³)	Retención de humedad (%)	Porosidad de aire (%)	Porosidad total (%)
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).

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).

Cuadro 3. Porcentaje de supervivencia (%SE), porcentaje de enraizamiento (%ER), número 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	6.3 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 (µg 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	3.9 c	7.5 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

Tratamiento	Variable				
	%SE	%ER	NR	LRP (mm)	LTR (mm)
Interacción (sustrato*brasinólido)					
PM * 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 bc	2.96 bc	2.81b	6.44 c
PM * 60	28.51 b	23.18 bc	2.73 c	2.97 b	6.67 c
PMP * 0	2.8 c	2.24 d	1.92 d	1.19 c	4.33 c
PMP * 20	15.5 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	50b	40.44 b	3.4 b	4.4 b	7.75 bc
FC * 0	4 c	4.03 d	1.13 d	1.17 c	3.74 d
FC * 20	15.8 c	13.06 d	3.06 b	3.21 b	6.91 c
FC * 40	42.3 b	38.58 b	3.14 b	3.41 b	7.13 c
FC * 60	52.6 b	44.66 b	3.22 b	3.51 b	7.47 bc
FCP * 0	7 c	5.28 d	1.16 d	1.67 c	8.24 b
FCP * 20	18.2 bc	14.56 c	3.26 b	4.71 b	8.41 b
FCP * 40	50.1 b	40.08 b	3.99 b	4.91 b	8.63 b
FCP * 60	57.7 b	56.16 a	3.77 b	6.01 a	8.97 b
AT * 0	11.1 c	8.92 c	1.87d	1.31 c	6.56 c
AT * 20	36 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*	0.04*	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.

En el porcentaje de supervivencia de esquejes. la mezcla de AT tuvo la media más alta de 48.88%, el PM presentó 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 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%.

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.

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 $60 \mu\text{g L}^{-1}$ esta variable fue de 54.75% mientras que con $0 \mu\text{g L}^{-1}$ solo 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 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 de 67% en la mezcla AT, en esta mezcla con $40 \mu\text{g L}^{-1}$ enraizaron 60% de los esquejes, mientras con la concentración de $20 \mu\text{g L}^{-1}$ enraizó 28% de los esquejes y sin el brasinólido 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 brasinólido (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), estos 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 tienen una relación directa, a mayor concentración de 24-EBL el número y longitud de raíces aumenta (Cuadro 3). Con la aplicación exógena de diferentes análogos de brasinólidos para el mejoramiento de la germinación de semillas e inducir la promoción del crecimiento de hipocotílos, 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.

La combinación de la concentración de $40 \mu\text{g l}^{-1}$ con los sustratos FCP y FC no presentó 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 de 50% al 34% menos con respecto al tratamiento de AT (Figuras 1A y 1B).

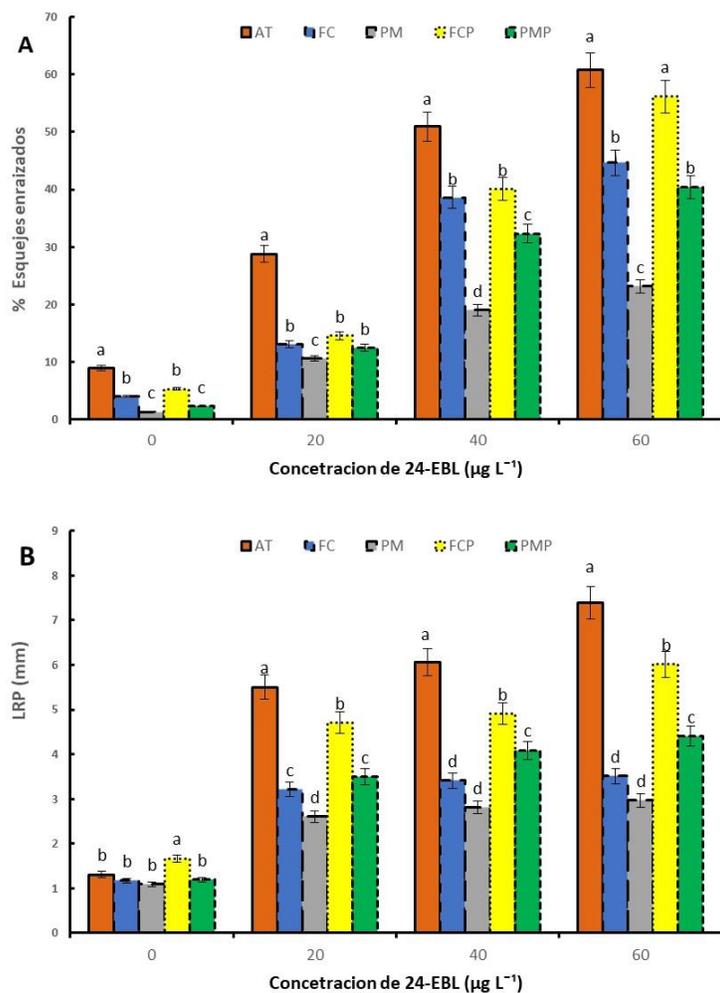


Figura 1. A) Porcentaje de esquejes enraizados; y B) longitud de raíz principal (LRP) de arándano azul, propagados en distintos sustratos y tratados con 24-EBL. Sustratos= Peat Moss Turba Rubia Sphagnum® (PM); mezcla de Peat Moss Turba Rubia Sphagnum® y perlita en relación 2:1 (PMP); fibra de coco (Power 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.

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 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 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 (*Vaccinuum corymbosum*) variedad Biloxi.

Agradecimientos

Al CONACYT y a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Literatura citada

- A'saf, T. S.; Ajlouni, M. G.; Ayad, J. Y.; Othman, Y. A. and Hilaire, R. 2020. Performance of six different soilless green roof substrates for the mediterranean region. *The Science of the Total Environment*. 730:2-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139182>.
- Acosta-Durán, C.; Vázquez-Benítez, N.; Villegas-Torres, O.; Vence, L. B. y 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.; He, B. B.; Qian, X. J.; Zhou, Y. H.; Shi, K.; Zhou, J. Z.; Yu, J. Q. and 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*. 229:922-931. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.076>.
- Ayub, R. A. and Pereira, A. B. 2020. Brassinosteroid combined with indolbutyric acid in blueberry micropropagation. *J. Agric. Sci.* 14(5):59-65. <https://doi.org/10.5539/jas.v14n5p59>.
- Bannoud, F. and Bellini, C. 2021. Adventitious rooting in populus species: update and perspectives. *Front. Plant Sci.* 12:1-22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.668837>.
- Bergonci, T.; Ribeiro, B.; Ceciliato, P. H. O.; Guerrero, A. J. C.; Silva, F. M. C. and Moura, D. S. 2014. *Arabidopsis thaliana* RALF1 opposes brassinosteroid effects on root cell elongation and lateral root formation. *J. Exp. Bot.* 65(8):2219-2230. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru099>.
- Blythe, E. K.; Sibley, J. L.; Ruter, J. M. and Tilt, K. M. 2004. Cutting propagation of foliage crops using a foliar application of auxin. *Sci. Hortic.* 103(1):31-37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.011>.
- Braha, S. and 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. *Agric, Forest.* 64(3):79-87. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.3.07>.

- Cárdenas-Navarro, R. y López-Pérez, L. 2011. Propagación vegetativa de rosa: efecto del sustrato, luminosidad y permanencia de la hoja. *Sci. Agropec.* 2(4):203-211. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2011.04.02>.
- Castro-Restrepo, D. y 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.
- Crespo-Crespo, G. M. R.; González-Eguiarte, D. R.; Rodríguez-Macías, R.; Ruiz-Corral, J. A. y 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. *Rev. Internac. Contamin. Ambien.* 34(3):373-382. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.03.01>.
- De-Boodt, M. and Verdonck, O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hortic.* 26:37-44. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1972.26.5>.
- Díaz, L. A.; Fischer, G. and Pulido, S. P. 2012. La fibra de coco como sustituto de la turba en la obtención de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 4(2):153-162. <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i2.1236>.
- Gómez-Merino, F. C.; Trejo-Téllez, L. I.; García-Albarado, J. C. y Morales-Ramos, V. 2013. Lulo (*Solanum quiroense* Lamarck). Como nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Rev. Mexic. Cienc. Agríc.* 4(5):877-887. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci.abstract&pid=S200709342013000900002&lng=es&nrm=iso>.
- Hung, C. D. and Trueman, S. J. 2012. Cytokinin concentrations for optimal micropropagation of *Corymbia torelliana* and *C. citriodora*. *Australian Forestry.* 75(4):233-237. <https://doi.org/10.1080/00049158.2012.10676407>.
- 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. and 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>.
- Leitner, D.; Felderer, B.; Vontobel, P. and Schnepf, A. 2014. Recovering root system traits using image analysis exemplified by two-dimensional neutron radiography images of lupine. *Plant Physiol.* 164(1):24-35. <https://doi.org/10.1104/pp.113.227892>.
- Luna-Fletes, J. A.; Cruz-Crespo, E. and Can-Chulim, 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. and Vargas, O. 2014. Effects of salinity induced by ammonium sulfate fertilizer on root and shoot growth of highbush blueberry. *Acta Hortic.* 1017(49):407-414. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1017.49>.
- Mouchel, C. F.; Osmont, K. S. and 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>.
- Pagani, A.; Molinari, J.; Lavado, R. and Benedetto, A. 2015. Behavior impatient Wallerana Hook. F in alternative pot substrates: Mechanisms involved and research perspectives. *J Plant Nutr.* 38(14):2185-2203. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.988357>.
- Pardo-Giménez, A. and 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. *Rev. Investing. Agrar.* 6(4):683-690. <https://doi.org/10.5424/sjar/2008064-361>.

- Pego, R. G.; Fiorini, C. V. A.; Machado, A. F. L. and Gomes, M. V. S. 2019. Propagation of *Streptosolen jamesonii* (Benth) miers by stem cutting treated with IBA in different substrates. *Ornamental Hortic.* 25(1):26-33. <https://doi.org/10.14295/oh.v25i1.1184>.
- Putrino, F. M.; Tedesco, M.; Bodini, R. B. and Oliveira, A. L. 2020. Study of supercritical carbon dioxide pretreatment processes on green coconut fiber to enhance enzymatic hydrolysis of cellulose. *Bio. Technol.* 309:1-7. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123387>.
- Rodriguez, S. C.; Vincent, C. and Rufus, I. 2019. Blueberry IPM: past successes and future challenges. *Ann. Rev. Entomol.* 64(1):95-114. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011118-112147>.
- Sánchez-Córdova, T.; Aldrete, A.; Cetina-Alcalá, V. M. and López-Upton, J. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques.* 14(2):41-49.
- Serna, M.; Hernández, F.; Coll, F. and Amorós, A. 2012. Brassinosteroid analogues effect on yield and quality parameters of field-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Sci. Hortic.* 143:29-37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.019>.
- SIAP. 2021. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, S. Panorama agroalimentario. [gob.mx. https://www.gob.mx/siap/documentos/panorama-agroalimentario-2021](https://www.gob.mx/siap/documentos/panorama-agroalimentario-2021).
- Sun, L.; Feraru, E.; Feraru, M. I.; Waidmann, S.; Wang, W.; Passaia, G.; Wang, Z. Y.; Wabnik, K. and and Kleine-Vehn, J. 2020. PIN-LIKES coordinate brassinosteroid signaling with nuclear auxin input in *Arabidopsis thaliana*. *Current Biol.* 30(9):1579-1588. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.02.002>.
- Vargas-Tapia, P.; Castellanos-Ramos, J. Z.; Sánchez-García, P.; Tijerina-Chávez, L.; López-Romero, R. M. y Ojodeagua-Arredondo, J. L. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fitotec. Mexic.* 31(4):375-375.
- Vázquez, M. N.; Guerrero, Y. R.; Noval, W. T.; González, L. M. and Zullo, M. A. T. 2019. Advances on exogenous applications of brassinosteroids and their analogs to enhance plant tolerance to salinity: A review. *Austr. J. Crop Sci.* 13(1):115-121. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.338566792578080>.
- Villegas-Monter, A.; Castro-Garibay, S. L. y Castro-Garibay, S. L. 2019. Enraizamiento de estacas en tres cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). *AgroProductividad.* 12(3):63-68. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1328>.