

Sustratos y ácido indol-3-butírico en la propagación de frambuesa

Substrates and indole-3-butyric acid in raspberry propagation

María Noemí Frías-Moreno¹ , Guadalupe Isela Olivas-Orozco² ,
Gustavo Adolfo González-Aguilar³ , Juan Luis Jacobo-Cuellar¹ ,
Ofelia Adriana Hernández-Rodríguez¹ , Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios¹ ,
Verónica Ordóñez-Beltrán¹  y Rafael Ángel Parra-Quezada^{1‡} 

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Av. Pascual Orozco s/n, Campus 1, Santo Niño. 31200 Chihuahua, Chihuahua, México.

[‡] Autor para correspondencia (raparra@uach.mx)

² Laboratorio de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal y Toxicología, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Av. Río Conchos s/n, Parque Industrial. 31570 Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, colonia La Victoria. 83304 Hermosillo, Sonora, México.

RESUMEN

Con el fin de contribuir al conocimiento sobre la propagación asexual de *Rubus idaeus* L., se estableció un experimento cuyo objetivo fue conocer, en dos años consecutivos (2017 y 2018), los efectos de tipos de sustratos y ácido indol-3-butírico (IBA), en la propagación de diferentes variedades frambuesa a partir de esquejes de raíz bajo condiciones de invernadero. Los sustratos utilizados como medio de enraizamiento de los esquejes fueron compost con alto contenido de materia orgánica, arena y un sustrato de textura franco arcillosa, los esquejes se trataron con IBA en concentraciones de 1, 5 y 10 mEq L⁻¹. Las variables evaluadas fueron: producción de nuevas plantas a través del tiempo, porcentaje de sobrevivencia de plantas trasplantadas con tratamientos de IBA y eficiencia de los sustratos. Los resultados demostraron diferencias estadísticas en la producción dinámica de brotes nuevos en las variedades estudiadas. Comportándose la variedad “Heritage” con mayor emisión de brotes nuevos a partir de la raíz en los dos años de estudio. Las concentraciones de IBA 1, 5 y 10 mEq L⁻¹ afectaron el porcentaje de sobrevivencia de las plantas trasplantadas, mostrando el tratamiento

testigo mayor eficiencia de supervivencia. El sustrato con alto contenido de materia orgánica fue el más adecuado en función de la eficiencia de enraizamiento de plantas trasplantadas en macetas individuales. Se concluye que aplicaciones de IBA afectan la eficiencia de enraizamiento en plantas de frambuesa, considerando que son plantas muy suculentas, lo cual limita el efecto de la hormona de enraizamiento.

Palabras clave: asexual, dosis, enraizamiento, *Rubus idaeus* L., sobrevivencia de brotes, variedades.

SUMMARY

In order to contribute to the knowledge concerning the asexual spread of *Rubus idaeus* L., we established an experiment where the objective was to evaluate, in two consecutive years (2017 and 2018), the effects of different concentrations of indole-3-butyric acid (IBA) and types of substrates over the propagation efficiency from root cuttings with different raspberry varieties under greenhouse conditions. Compost materials with a high content of organic matter, sand and a clay-loamy substrate were used as rooting medium, with concentrations of 1, 5 and 10 mEq L⁻¹ of IBA.

Cita recomendada:

Frías-Moreno, M. N., Olivas-Orozco, G. I., González-Aguilar, G. A., Jacobo-Cuellar, J. L., Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., Ordóñez-Beltrán, V. y Parra-Quezada, R. Á. (2021). Sustratos y ácido indol-3-butírico en la propagación de frambuesa. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-10. e753. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.753>

Recibido: 06 de mayo de 2020. Aceptado: 07 de julio de 2021.
Artículo. Volumen 39, agosto de 2021.

The variables evaluated were: production of new plants over time, percentage of survival of transplanted plants with IBA treatments and substrate efficiency. The results showed statistical differences in the dynamic production of new shoots in the varieties studied. The Heritage variety exhibited the greatest emission of new shoots from the root in the two years of study. The concentrations of IBA (1, 5 and 10 mEq L⁻¹) affected the survival rate of the transplanted plants, where the control treatment showed the greatest survival efficiency. The substrate with a high content of organic matter was the most suitable depending on the rooting efficiency of transplanted plants in individual pots. We conclude that IBA applications affect the rooting efficiency in raspberry plants, this is due to the fact that these are very succulent plants, which limits the effect of the rooting hormone.

Index words: *asexual, dose, rooting, Rubus idaeus L., outbreak survival, varieties.*

INTRODUCCIÓN

La demanda de frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) en países desarrollados como Estados Unidos y Canadá está aumentando (Chisoro-Dube, Nair y Landani, 2019), por lo tanto, el interés en establecer plantaciones comerciales es mayor, lo que genera una demanda de material vegetativo, de alta calidad, para establecer nuevos huertos. Por lo anterior, se requiere evaluar técnicas de propagación más eficientes, accesibles y de bajo costo utilizando métodos vegetativos. Uno de ellos es la utilización de esquejes de raíz, los cuales presentan yemas adventicias que formarán un nuevo brote (Vieira, Coutinho y da Rocha, 2013). Esta técnica es ampliamente utilizada, porque tiene mayor cantidad de tejido indiferenciado, facilitando la formación de primordios vegetativos a partir de la raíz en corto tiempo (Wang, Zhao y Quan, 2011). Algunas de las ventajas que presenta la técnica indicada son: facilidad en el procedimiento, se puede propagar abundante material utilizando poco espacio, tiene bajo costo de operación, a partir de una raíz se pueden obtener gran número de plántulas, cada planta producida por este método es genéticamente idéntica a la planta madre, lo que se traduce en homogeneidad del cultivo (López-Acosta, Guío, Fischer y Miranda, 2008). Se han reportado

una serie de experimentos sobre la propagación de especies de *Rubus* por cortes sistemáticos de brotes vegetativos procedentes de la raíz con diferentes grados de éxito, donde las características particulares de los cultivares influyen en los procedimientos de propagación (González y Morales, 2009; Williams y Norton, 1959; Stoevska, Trifonova y Karadocheva, 2014). Otro factor determinante es el enraizamiento de los esquejes obtenidos en la cama, para el cual es necesario un balance hormonal entre promotores e inhibidores de iniciación radicular (Da Costa *et al.*, 2013), facilitándose con aplicaciones exógenas de promotores de raíces como ácido indol-3-butírico (IBA), que elevan la concentración de auxinas en el tejido (Mabizela, Slabbert y Bester, 2017). Williams y Norton (1959) propagaron frambuesas rojas por esquejes de tallo de madera blanda, encontraron que varios cultivares enraizaron completamente sin tratamientos de IBA. Sin embargo, en otro estudio se encontró que los brotes bien desarrollados después de la multiplicación in vitro si enraizaron satisfactoriamente con aplicaciones de 0.5 mg L⁻¹ de IBA (Stoevska *et al.*, 2014). Otros resultados indican que el método de propagación de arándano por estacas de madera dura, con aplicaciones de IBA, influyó en el establecimiento y rápido crecimiento de los esquejes (Debnath, 2006). Ružić, Vujović, Libiakova, Cerović y Gajdošova (2012) indicaron que una baja concentración de IBA (≤ 1 mg L⁻¹) aumenta la eficacia de multiplicación de brotes de arándanos "*Highbush*" in vitro. Sin embargo, para una mayor eficiencia en la propagación vegetativa o asexual de frambuesa, es necesario determinar las concentraciones óptimas de IBA, así como un sustrato local, de fácil acceso y adecuadas propiedades agronómicas, que garantice el enraizamiento y desarrollo de las plántulas (López-Acosta *et al.*, 2008). A este respecto Mendoza-Hernández, Fornes y Belda (2014) evaluaron el enraizamiento por esquejes de raíz en plantas de romero, encontrando que el sustrato de vermicomposta con alto contenido de materia orgánica mejoró el enraizamiento y la longitud de la raíz. Por lo anterior, el propósito del presente estudio fue evaluar la producción de brotes nuevos y la eficiencia de propagación a partir de esquejes de raíces en tres cultivares de frambuesa ("Heritage", "Autumn Bliss Roja" y "Autumn Bliss Amarilla"), con diferentes tipos de sustratos y concentraciones de IBA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Vegetal

En marzo de 2017 y 2018, en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Extensión Cuauhtémoc (28° 24' 45.1" N, 106° 52' 54.9" O y 2060 m de altitud) se trabajó la técnica de propagación de frambuesa a partir de esquejes de raíces, los cuáles se obtuvieron de una plantación de frambuesa que contaban con 2 años de establecida. Se tomaron raíces de tres variedades productoras de otoño: "Heritage", "Autumn Bliss Roja" y "Autumn Bliss Amarilla". Las raíces fueron extraídas a una profundidad entre 40 y 50 cm, posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio (NaClO) al 10%, en inmersión por 15 minutos. Una vez tratado el material vegetal se colocó dentro de un invernadero, en mesas (camas), las cuales fueron acondicionadas con sustrato de turba (peat moss) y un sistema de riego por goteo. Posteriormente las raíces fueron cubiertas por turba (15 cm), implementando riegos diarios para favorecer el desarrollo de las yemas adventicias a partir de las raíces. Cada unidad experimental estuvo representada por ½ m² por cama, a las cuales se les colocó 2 kg de raíces, previamente tratadas.

Nutrición Mineral de las Camas

A los 15 días de establecimiento de las raíces, se aplicó por cama, cada semana, una solución nutritiva con fertilizantes comerciales sintéticos de nitrógeno (nitrato de amonio), fósforo (triple 17) y potasio (sulfato de potasio). En cada una de las unidades experimentales se aplicó el equivalente a 16 mEq L⁻¹ de nitrato de amonio, 4 mEq L⁻¹ de triple 17 y 14 mEq L⁻¹ sulfato de potasio distribuidos uniformemente.

Tratamiento de Enraizamiento y Trasplante de Nuevos Brotes

Cuando los brotes procedentes de yemas adventicias de la raíz presentaron una altura de 8±3 cm, se cortaron justo donde se diferenciaba el tallo de la raíz principal, posteriormente se procedió con la aplicación de las dosis de IBA, como se refiere en el Cuadro 1, donde se sumergió la parte basal del esqueje por 1 minuto aproximadamente, en la solución

Cuadro 1. Tratamientos de ácido indol-3-butírico (IBA) aplicados a brotes de frambuesa.

Table 1. Indole-3-butyric acid (IBA) treatments applied to raspberry sprouts.

Tratamientos	Dosis de IBA
	mEq L ⁻¹
Testigo	0
1	1
2	5
3	10
4	Concentrado

Concentrado hace referencia al producto en su presentación comercial "Proroot" el cual contenía 200 mg L⁻¹ de IBA.

Concentrate refers to the product in its commercial presentation "Proroot", which contained 200 mg L⁻¹ of IBA.

de IBA con las diferentes concentraciones. Después se continuó con el trasplante en macetas individuales, las cuales contenían tres tipos de sustratos, las características fisicoquímicas se describen en el Cuadro 2. Las plantas se mantuvieron en invernadero con temperaturas promedio que fluctuaron entre 9 y 33 °C. Los riegos implementados fueron a capacidad de campo cada 24 horas, durante un acumulativo de 802 unidades calor.

Unidades Calor (UC)

Las UC se calcularon (en la plataforma de la University of California Agriculture & Natural Resources. Accedido el 06 diciembre de 2019 desde <http://ipm.ucanr.edu/index.html>) con puntos críticos de 4.5 y 35 °C, seno simple y corte horizontal, durante el periodo que se mantuvieron las plántulas en invernadero.

Producción de Plantas Nuevas a Través del Tiempo (UC)

La producción de plantas nuevas a partir de la raíz fue registrada a través del tiempo (UC). Una vez que emergieron los primeros brotes procedentes de yemas adventicias de la raíz se contabilizaron, generando con ello el dato de producción de nuevas plantas en las variedades de frambuesa ("Heritage", "Autumn Bliss Roja" y "Autumn Bliss Amarilla").

Cuadro 2. Características fisicoquímicas de los sustratos evaluados en la propagación de frambuesa.
Table 2. Physicochemical characteristics of the substrates evaluated in the raspberry propagation.

Tipos de sustratos	CIC	NO ₃	Materia orgánica	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Cu
		kg ha ⁻¹	%	H ₂ O	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
								mg kg ⁻¹				
Materia orgánica	78.66	262.83	24.30	7.33	230.65	1069	12800	86.60	114.00	38.00	7.80	2.90
Franco arcilloso	12.98	34.71	1.85	6.78	20.22	533.0	3408	390.00	182.00	9.92	1.32	0.98
Arena	6.12	14.43	0.71	3.78	11.68	225.0	1788	32.90	138.00	65.50	10.80	2.90

Sobrevivencia de Plantas Trasplantadas con Tratamientos de Ácido Indol-3-Butírico (IBA)

De la producción de nuevas plantas se tomó una muestra representativa (20 plántulas) a la cual se aplicó los distintos tratamientos de IBA (Cuadro 1).

Eficiencia de Sustratos

La eficiencia de los sustratos se comparó entre las variedades estudiadas (“Heritage”, “Autumn Bliss Roja” y “Autumn Bliss Amarilla”) y tratamientos de IBA (Cuadro 1).

Diseño Experimental y Variables Evaluadas

Se utilizó un arreglo de tratamientos con cuatro factores: factor “A” variedades, factor “B” concentraciones de IBA, factor “C” años de estudio y factor “D” sustratos. Las variables evaluadas por año fueron producción de plantas nuevas a través del tiempo, sobrevivencia de plantas trasplantadas con tratamientos de IBA y eficiencia del sustrato. Cabe destacar que, debido a la disminución de la producción de nuevas plantas en el año 2018, se decidió analizar solo la sobrevivencia de plantas tratadas con ABA en el 2017, el resto de las variables incluyen los dos años. Los datos se analizaron con el paquete SAS, mediante análisis de varianza y comparaciones de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) (SAS, 2003). Mientras que el incremento del número de plantas por tratamientos a través del tiempo se exploró con el modelo Weibull modificado, de la forma: $Y = 1 - \exp(-t/b)^c$; donde Y = número de plantas producidas; t= tiempo fisiológico en unidades calor; b = estimador de la tasa de incremento

del número de plantas por tratamiento (1/b); c = un parámetro en función de la forma de la curva (Jacobo *et al.*, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Nuevas Plantas a Través del Tiempo

En el año 2017, la producción de nuevas plantas en las tres variedades estudiadas inició a las 135 unidades calor (UC) después del establecimiento de las raíces en las camas. Mientras que, en el año 2018, la emergencia de plántulas ocurrió a las 180 UC para la variedad “Heritage” y 227 UC para “Autumn Bliss Roja” y “Autumn Bliss Amarilla”, representando estas últimas un retraso de 47 UC en inicio de producción de nuevas plantas respecto de la variedad “Heritage”.

Los resultados de los dos años de estudio presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en la tasa de producción de nuevas plantas (Figura 1), destacando la variedad “Heritage” con 168 plántulas en 2017 y 88 en 2018, seguida por las variedades “Autumn Bliss Roja” con 97 en 2017 y 68 en 2018 y “Autum Bliss Amarilla” con 2017 y 43 en 2018. Con base en las tasas de incremento en la producción de plantas (Cuadro 3) por variedad y año, puede destacarse que el año 2017 se caracterizó por tener mayor producción respecto de 2018; disminuyendo un 52% en la variedad “Heritage”, 41% en “Autumn Bliss Roja” y 37% en “Autum Bliss Amarilla” (Figura 1). Lo anterior pudo deberse a la reducción de reservas de carbohidratos y almidones en el sistema radicular de las plantas de frambuesa a través de los ciclos de producción (de Oliveira, Silva, Ferreira, Oliveira y Monteiro, 2007). Investigadores señalan el importante papel del almacenamiento

de carbohidratos de la raíz para el desarrollo de primocañes al siguiente año (Qiu *et al.*, 2016). El cultivo de frambuesa, se caracteriza por tener el crecimiento vegetativo y reproductivo de primavera al mismo tiempo y por lo tanto ambos necesitan carbohidratos para la producción de biomasa (Darnell, Alvarado y Williamson, 2008), por lo tanto, la competencia por carbohidratos, que sumada a la edad de la planta y a la característica del sistema radicular, se pueden agotar sus reservas y disminuir la emisión de nuevos brotes.

Considerando que la vida útil de las variedades productoras de otoño es aproximadamente de 6 años después del trasplante en campo (Heide y Sønsteby, 2011). Lo cual indica que aun cuando es considerado un cultivo perene (Alvarado-Raya, Avitia y Castillo, 2016), el sistema radicular posee la característica de agotar sus reservas, lo cual limitaría la producción de nuevas plantas al momento de propagar. Una de las particularidades de este cultivo es que después de floración y fructificación, los brotes mueren, completando su ciclo de vida; mientras que los nuevos brotes se forman desde la raíz y brotes axilares en la base del viejo brote, esto con el fin de mantener el rendimiento perenne de la planta (Heide y Sønsteby, 2011).

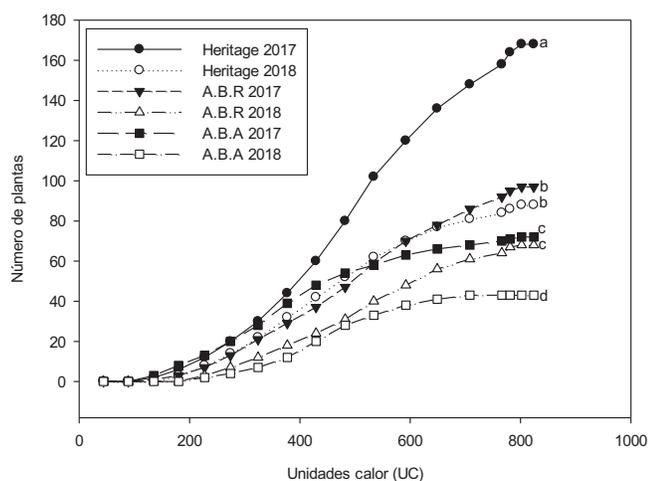


Figura 1. Producción de nuevas plantas en tres variedades de frambuesa en dos años de estudio a través del tiempo (unidades calor). Los resultados se representan en medias. Diferentes letras entre variedades y años de estudio indican diferencia estadística ($P \leq 0.05$).

Figure 1. Production of new plants in three raspberry varieties in two years of study over time (heat units). The results are represented as mean values. Different letters between varieties and years of study indicate statistical difference ($P \leq 0.05$).

Respecto a las diferencias de la producción de nuevas plantas entre variedades, está documentado que las características genéticas son un factor importante en la producción de nuevos brotes, ya que la mayoría de los rasgos de las raíces están controlados por múltiples genes (Comas, Becker, Cruz, Byrne y Dierig, 2013).

Indicadores del Modelo Weibull

El ajuste y prueba de significancia del incremento en el número de plantas a través del tiempo se hizo con el modelo Weibull, ilustrado en el Cuadro 3. La selección del modelo se eligió con base en: coeficiente de variación menor a 15%, coeficiente de determinación superior al 95% y $\alpha \leq 0.05$. Con base en los resultados obtenidos, se logró deducir que la variedad “Heritage” mostró la mayor tasa de incremento a través del tiempo en el número de plantas propagadas, reflejado al contrastar el número de plantas que se obtuvieron por tratamiento (Figura 1).

Sobrevivencia de Plantas Trasplantadas con Tratamientos de Ácido Indol-3-Butírico (IBA)

Con base en los resultados encontrados las aplicaciones de la hormona de enraizamiento IBA afectó el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas una vez que fueron trasplantadas en macetas individuales. El testigo (sin IBA) presentó mayor número de plantas que sobrevivieron en las tres variedades estudiadas. Sobresaliendo la variedad “Heritage” con 120 plantas (Figura 2). Mientras que el tratamiento de 1 mg L^{-1} de IBA no presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) con un promedio de 34 plantas entre las variedades “Heritage”, “Autumn Bliss Roja” y “Autumn Bliss Amarilla” con el sustrato de materia orgánica, seguido del sustrato de arena con 14 plantas en promedio. Posicionándose el sustrato de textura franco arcilloso con menor número de plantas que sobrevivieron en las tres variedades estudiadas.

Con el tratamiento de 5 mg L^{-1} de IBA las tres variedades presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). “Heritage” con el sustrato de materia orgánica fue la variedad con mayor número de plantas (25). Seguida de la variedad “Autumn Bliss Roja” con 10 plantas, también con sustrato de materia orgánica. El resto de los tratamientos (sustratos, variedades y dosis) se comportaron estadísticamente igual. Los resultados del tratamiento de 10 mg L^{-1} de IBA también

se comportaron estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$). Nuevamente sobresalió “Heritage” con 10 plantas que sobrevivieron, el resto de los tratamientos con un valor promedio de 1 planta. Mientras que el tratamiento de IBA concentrado en las tres variedades y distintos sustratos consiguió 0% de supervivencia (Figura 2). Los resultados encontrados, muy posiblemente se debe a que la suplementación exógena de IBA causó un efecto fitotóxico en la planta, reduciendo el enraizamiento y por consecuencia la muerte de la plántula. Resultados reportados por Patto *et al.* (2013) mostraron tendencias similares a las del presente estudio; indicando que la emisión de raíces y brotes disminuyó ligeramente con la aplicación de concentraciones de IBA, obteniendo mayor emisión de raíces y brotes en el testigo. Así mismo Štefančič, Štampar y Osterc (2005) hacen mención que IBA inhibió la formación de brotes nuevos en el período temprano del desarrollo de

la raíz, influyendo negativamente en el crecimiento de los brotes y el desarrollo del tipo acrobasal del sistema de enraizamiento. Otro estudio muestra que dosis de IBA por arriba de 2.5 g L⁻¹ inhibieron la formación de callos y, en consecuencia, influyeron en la calidad de los esquejes desarrollados (Štefančič, Štampar y Osterc, 2006). Por lo que hacen falta más estudios que evalúen dosis más bajas de 1 mEq L⁻¹ de IBA en diferentes variedades.

Eficiencia de los Sustratos

La eficiencia de propagación de los sustratos estudiados mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre las variedades estudiadas en 2017. El sustrato de materia orgánica presentó mayor eficiencia de propagación con un incremento en la supervivencia del número de plantas en las tres variedades estudiadas.

Cuadro 3. Indicadores del modelo Weibull y su bondad de ajuste para propagación de plantas de frambuesa por variedad y año. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Table 3. Indicators of the Weibull model and its goodness of fit for the propagation of raspberry plants per variety and year. Cuauhtémoc, Chihuahua, Mexico.

Variedad/ año	Modelo Weibull	Indicadores del ajuste del modelo			
	$Y = 1 - e^{-\left(\frac{t}{b}\right)^c}$	Pendiente (1/b)	Pr > F	R ² (%)	Coefficiente de variación
Heritage 2017	$Y = 1 - e^{-\left(\frac{t}{544.5}\right)^{3.2073}}$	1.837E-03 a	<0.001	99.9	2.8
A.B.R. 2017	$Y = 1 - e^{-\left(\frac{t}{831.39}\right)^{2.0564}}$	1.203E-03 b	<0.001	99.3	5.5
Heritage 2018	$Y = 1 - e^{-\left(\frac{t}{895.62}\right)^{1.7553}}$	1.12E-03 b	<0.001	97.6	9.2
A.B.R. 2018	$Y = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1047.1}\right)^{2.0536}}$	0.955E-03 c	<0.001	98.4	8.1
A.B.A. 2017	$Y = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1145.5}\right)^{1.285}}$	0.873E-03 c	<0.001	95.5	11.1
A.B.A. 2018	$Y = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1183.16}\right)^{2.089}}$	0.845E-03 c	<0.001	95.1	14.7

El número de plantas propagadas por variedad y año se obtiene sustituyendo t en la ecuación con valores de 0 - 800 unidades para Heritage, Autum Bliss Roja (A.B.R.) 2017 y Autum Bliss Amarilla (A.B.A.) 2017; entre 0 y 780 para Autum Bliss Roja (A.B.R.) 2018 y entre 0-708 unidades para Autum Bliss Amarilla (A.B.A.) 2018. Valores en la columna pendiente con misma letra significa igualdad estadística entre ellos.

The number of plants propagated by variety and year is obtained by substituting t in the equation with values of 0 - 800 units for Heritage, Autum Bliss Roja (A.B.R.) 2017 and Autum Bliss Amarilla (A.B.A.) 2017; between 0 and 780 for Autum Bliss Roja (A.B.R.) 2018 and between 0-708 units for Autum Bliss Amarilla (A.B.A.) 2018. Values in the pending column with the same letter depict statistical equality between them.

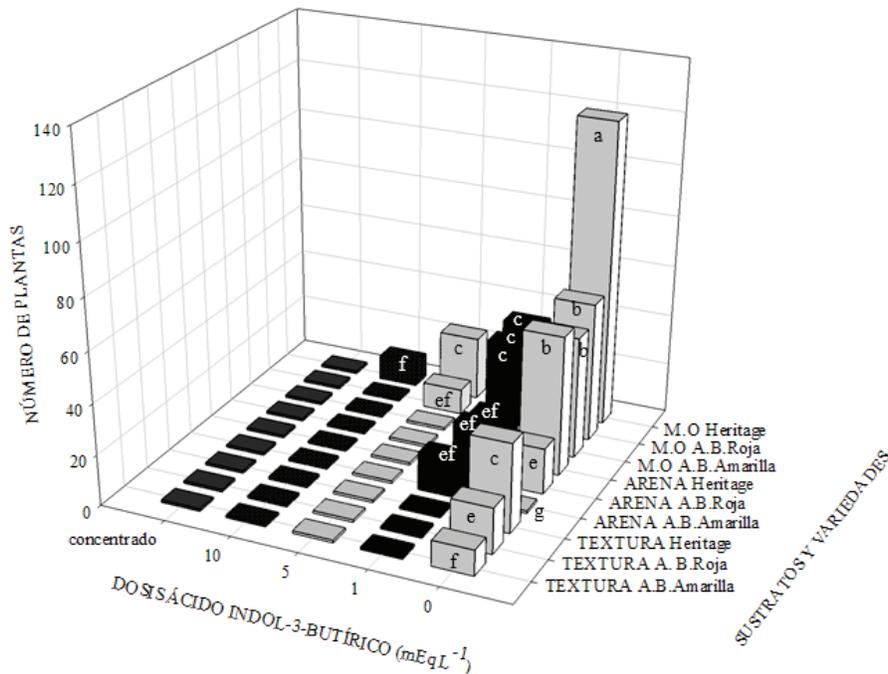


Figura 2. Porcentaje de sobrevivencia de plantas trasplantadas (año 2017) con diferentes sustratos y tratamientos de IBA en tres variedades de frambuesa. Los resultados se representan en medias. Diferentes letras entre sustratos, variedades y dosis indican diferencia estadística ($P \leq 0.05$). Barras sin letras indican no diferencia significativa ($P \leq 0.05$). M.O = materia orgánica; Textura = textura franco arcillosa; A.B.Roja = Autumn Bliss Roja; A.B.Amarilla = Autumn Bliss Amarilla.

Figure 2. Survival percentage of transplanted plants (year 2017) with different substrates and IBA treatments in three raspberry varieties. The results are represented as means values. Different letters between substrates, varieties and doses indicate statistical difference ($P \leq 0.05$). Bars without letters indicate no significant difference ($P \leq 0.05$). M.O = organic matter; Texture = Loamy clay texture; A.B. Red = Autumn Bliss Red; A.B. Yellow = Autumn Bliss Yellow.

En el caso de la variedad “Heritage” el comportamiento de los sustratos de mayor a menor eficiencia fueron; materia orgánica, arena y textura franco arcilloso. Mientras que para la variedad “Autumn Bliss Roja” fue materia orgánica, arena y textura franco; comportándose estos dos últimos sustratos estadísticamente igual. En el caso de “Autumn Bliss Amarilla”: materia orgánica, textura franco arcilloso y arena (Figura 2). Respecto a lo anterior, Thuring, Berghage y Beattie (2010) mencionan que actualmente hay muchos tipos de sustratos disponibles para la industria de propagación en invernaderos, por lo tanto, es de suma importancia considerara la composición y capacidad de retención de agua y nutrientes.

Los sustratos con alto contenido de materia orgánica y composición adecuada de nutrientes contribuyen a un crecimiento vegetativo más intenso

de plantas de frambuesa (Karaklajić-Stajić, Glišić, Ružić, Vujović y Pešaković, 2012). Una investigación reciente desarrollada en Quebec, Canadá, demostró que la propagación con corte de raíz en crecimiento vegetativo hidropónico, incrementó la eficiencia de adaptación (Qiu *et al.*, 2016). Esto es probablemente debido a una mayor retención de agua o un uso más eficiente de la fertilización en sustratos sin suelo (hidropónico). Lo cual indica el éxito del sustrato con alto contenido de materia orgánica en comparación con la arena y el sustrato de textura franco arcilloso que fueron evaluados en el presente estudio. Un alto contenido de materia orgánica en el sustrato, posee mayor capacidad de retención de agua, así como microorganismos micorrízicos, que, al asociarse con la raíz, mejoran el porcentaje de enraizamiento y supervivencia. Investigadores de la Universidad de

Agronomía en Serbia, expusieron que plántulas de frambuesa establecidas en dos sustratos diferentes (Seedling y Steckmedium) presentaron mayor éxito de enraizamiento, así como también mayor grosor basal en el sustrato denominado Seedling, el cual contenida mayor porcentaje de materia orgánica (Karaklajić-Stajić, Ružić, Glišić, Luković y Milošević, 2011). Así mismo, es de gran importancia la disponibilidad de elementos químicos ya que el desarrollo de nuevos pelos radicales se ve afectado por el estado de los nutrientes del suelo (Cao *et al.*, 2013).

En el presente estudio los resultados de los análisis fisicoquímicos de los sustratos (Cuadro 2), permitieron destacar la capacidad de intercambio catiónico y los contenidos de NO_3 , P, K en el sustrato con alto contenido de materia orgánica. Esos nutrientes minerales tienen funciones particulares en el enraizamiento de nuevos brotes (Otiende, Nyabundi, Ngamau y Opala, 2017). Ejemplo de ello es el fósforo que participa activamente en las etapas tempranas del desarrollo epidérmico de las células en la región meristemática que se diferencian en tricoblastos, activando las etapas posteriores del desarrollo epidérmico mediante la transferencia de energía celular (Shabnam, Tarek e Iqbal, 2018). De igual forma, los procesos celulares que se diferencian en su tasa de vacuolación demandan fósforo para la iniciación, elongación, extensión del alargamiento y, finalmente, en la presencia o ausencia de pelos radiculares de brotes nuevos. Es por ello la importancia del fósforo en el proceso de enraizamiento al momento de implementar técnicas de propagación.

CONCLUSIONES

Las raíces de la variedad “Heritage” que se propagaron en condiciones de invernadero tuvieron mayor producción de brotes nuevos en los dos años de estudio. Los tratamientos de ácido indol-3-butírico (IBA) causaron un efecto negativo en la eficiencia del trasplante, afectando la supervivencia y adaptación una vez que los brotes fueron cortados y trasplantados en macetas individuales. Las plantas de frambuesa no son candidatas para producir enraizamiento con este tipo de hormona, por lo que es recomendable no aplicarlo. El sustrato con alto contenido de materia orgánica y nutrientes obtuvo la mayor eficiencia de enraizamiento en brotes de frambuesa provenientes de esquejes de raíz en camas de enraizamiento en invernadero.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos originales presentados en el manuscrito se encuentran en la tesis de Doctorado en Ciencias del autor principal, misma que puede consultarse en la Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia en esta sección.

FONDOS

Los fondos utilizados para el desarrollo y seguimiento experimental de campo y laboratorio fueron proporcionados por la Universidad Autónoma de Chihuahua y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo en Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

El trabajo experimental de invernadero y campo fue realizado por el autor principal M.N.F.M. y colaboró V.O.B., con la supervisión de R.A.P.Q. y G.I.O.O. En el diseño experimental y análisis estadístico colaboró J.L.J.C. y D.L.O.B. La elaboración del manuscrito estuvo a cargo de M.N.F.M. y R.A.P.Q., el cual fue revisado por G.A.G.A. y O.A.H.R.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el financiamiento de la beca de estudios de Doctorado en Ciencias del autor principal.

LITERATURA CITADA

- Alvarado-Raya, H. E., Avitia-García, E., & Castillo-González, A. M. (2016). Producción de frambuesa 'Autumn Bliss' con diferentes densidades de caña en el Valle de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(1), 17-29.
- Ātefančič, M., Ātampar, F., & Osterc, G. (2006). Influence of endogenous IAA levels and exogenous IBA on rooting and quality of leafy cuttings of *Prunus* 'GiSelA 5'. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(3), 508-512. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512095>
- Cao, X., Chen, C., Zhang, D., Shu, B., Xiao, J., & Xia, R. (2013). Influence of nutrient deficiency on root architecture and root hair morphology of trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) seedlings under sand culture. *Scientia Horticulturae*, 162, 100-105. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.034>
- Chisoro-Dube, S., das Nair, R., & Landani, N. (2019). *Technological developments for increased market access and participation in fresh fruit value chains*. Project: Regional Value Chains. Johannesburg: CCRED.
- Comas, L. H., Becker, S., Cruz, V. M. V., Byrne, P. F., & Dierig, D. A. (2013). Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*, 4, 442. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>
- Da Costa, C. T., de Almeida, M. R., Ruedell, C. M., Schwambach, J., Maraschin, F. D. S., & Fett-Neto, A. G. (2013). When stress and development go hand in hand: main hormonal controls of adventitious rooting in cuttings. *Frontiers in Plant Science*, 4, 133. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00133>
- Darnell, R. L., Alvarado-Raya, H. E., & Williamson, J. G. (2008). Root pruning effects on growth and yield of red raspberry. *HortScience*, 43(3), 681-688. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.681>
- de Oliveira, P. B., Silva, M. J., Ferreira, R. B., Oliveira, C. M., & Monteiro, A. A. (2007). Dry matter partitioning, carbohydrate composition, protein reserves, and fruiting in 'Autumn Bliss' red raspberry vary in response to pruning date and cane density. *HortScience*, 42(1), 77-82. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.1.77>
- Debnath, S. (2006) Influence of propagation method and indole-3-butyric acid on growth and development of in vitro- and ex vitro-derived lingonberry plants. *Canadian Journal Plant Science*, 86(1), 235-243. <https://doi.org/10.4141/P04-142>
- González A., M. I., & Morales A., C. G. (2009). *Propagación de frambueso (Rubus idaeus L.)* [en línea]. San Javier: Informativo INIA Raihuen. no. 36. Consultado el 3 de agosto, 2019, desde <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/4312>
- Heide, O. M., & Sønsteby, A. (2011). Physiology of flowering and dormancy regulation in annual- and biennial-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.) – a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(5), 433-442. <https://doi.org/10.1080/14620316.2011.11512785>
- Jacobo Cuellar, J. L., Mora Aguilera, G., Ramírez Legarreta, M. R., Vera Graziano, J., Pinto, V. M., López Collado, J., ... Aceves Navarro, L. A. (2005). Caracterización cuantitativa de la diapausa de palomilla de la manzana *Cydia pomonella* L. en Cuauhtémoc, Chihuahua, México. *Agrociencia*, 39(2), 221-229.
- Karaklajić-Stajić, Ž., Glišić, I. S., Ružić, D., Vujović, T., & Pešaković, M. (2012). Microelements content in leaves of raspberry cv. Willamette as affected by foliar nutrition and substrates. *Horticultural Science*, 39(2), 67. <https://doi.org/10.17221/80/2011-HORTSCI>
- Karaklajić-Stajić, Z., Ružić, D., Glišić, I. S., Luković, J., & Milošević, T. (2011). Vegetative potential of plants of raspberry 'Willamette' grown on different growing media and treated with different foliar fertilizers. *Acta Horticulturae*, 946, 391-396. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.946.65>
- López-Acosta, F. J., Guío-Tenjo, N. R., Fischer, G., & Miranda-Lasprilla, D. (2008). Propagación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante diferentes tipos de esquejes y sustratos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4347-4357.
- Mabizela, G. S., Slabbert, M. M., & Bester, C. (2017). The effect of rooting media, plant growth regulators and clone on rooting potential of honeybush (*Cyclopia subternata*) stem cuttings at different planting dates. *South African Journal of Botany*, 110, 75-79. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.02.200>
- Mendoza-Hernández, D., Fornes, F., & Belda, R. M. (2014). Compost and vermicompost of horticultural waste as substrates for cutting rooting and growth of rosemary. *Scientia Horticulturae*, 178, 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.024>
- Otiende, M. A., Nyabundi, J. O., Ngamau, K., & Opala, P. (2017). Effects of cutting position of rose rootstock cultivars on rooting and its relationship with mineral nutrient content and endogenous carbohydrates. *Scientia Horticulturae*, 225, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.009>
- Patto, L. S., Ferreira, A. F., Pio, R., Moura, P. H. A., de Assis, C. N., & Pasqual, M. (2013). Vegetative propagation of redberry using refrigeration, IBA and BAP. *Revista de Ciências Agrárias*, 56(Suple), 140-144. <https://doi.org/10.4322/rca.2013.094>
- Qiu, Ch. P., Xu, Q. H., Gaudreau, L., Gosselin, A., Gauthier, L., Van Sterthem, A., & Desjardins, Y. (2016). Yield improvement of red raspberry by soilless cultivation with two propagation methods under northern Canadian climate. *Acta Horticulturae*, 1133, 195-200. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1133.29>
- Ružić, D., Vujović, T., Libiakova, G., Cerović, R., & Gajdošova, A. (2012). Micropropagation in vitro of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of Berry Research*, 2(2), 97-103. <https://doi.org/10.3233/JBR-2012-030>
- SAS Institute. (2003). Statistical Analysis System. SAS Release 9.1. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Shabnam, R., Tarek, M. H., & Iqbal, M. T. (2018). Understanding phosphorus dynamics in wheat plant and growth response in a split-root system in acidic soil. *Agriculture and Natural Resources*, 52(3), 259-265. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.09.006>
- Štefančič, M., Štampar, F., & Osterc, G. (2005). Influence of IAA and IBA on root development and quality of *Prunus*'GiSelA 5' leafy cuttings. *HortScience*, 40(7), 2052-2055. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.7.2052>
- Stenvall, N., Haapala, T., & Pulkkinen, P. (2004). Effect of genotype, age and treatment of stock plants on propagation of hybrid aspen (*Populus tremula* × *Populus tremuloides*) by root cuttings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(4), 303-311. <https://doi.org/10.1080/02827580410024115>

-
-
- Stoevska, T., Trifonova, A., & Karadocheva, D. (2014). Micropropagation of raspberries (*Rubus idaeus*). *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 9(2-3), 27-30. <https://doi.org/10.1080/13102818.1995.10818837>
- Thuring, C. E., Berghage, R. D., & Beattie, D. J. (2010). Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions. *HortTechnology*, 20(2), 395-401. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.2.395>
- Vieira, D. L., Coutinho, A. G., & da Rocha, G. P. (2013). Resprouting ability of dry forest tree species after disturbance does not relate to propagation possibility by stem and root cuttings. *Restoration Ecology*, 21(3), 305-311. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00935.x>
- Wang, X. L., Zhao, Z., & Quan, J. E. (2011). Indole-3-butyric acid on rooting and endogenous plant hormones in tetraploid and diploid *Robinia pseudoacacia* hardwood cuttings. *Phyton*, 80, 93-100. <https://doi.org/10.32604/phyton.2011.80.093>
- Williams, M. W., & Norton, R. A. (1959). Propagation of red raspberries from softwood cuttings. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 74, 401-406.