



Efecto de promotores de rizogénesis sobre el crecimiento de esquejes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en San Carlos, Costa Rica

Rhizogenesis promoters effect on the growth of terminal “raicilla” cuttings (*Psychotria ipecacuanha*) in San Carlos, Costa Rica

Ronny Alberto Castro Castillo¹, Arnoldo Gadea Rivas²

Palabras clave

Ipecacuana, reguladores de crecimiento, Proroot®, Radix® 35, Green Sol 48®, Green Sol 70®, Stimulate®, Rooting®.

Resumen

La ipecacuana (*Psychotria ipecacuana*) es la única especie con uso medicinal del trópico húmedo sembrada comercialmente bajo la sombra del bosque. En este ensayo se evaluó la sobrevivencia y crecimiento de esquejes terminales de raicilla a nivel de campo, sometidos a siete promotores de rizogénesis comerciales (T2: PROROOT®, T3: RADIX® 35, T4: Green Sol 48, T5: Green Sol 70, T6: ROOTING®, T7: Stimulate y T8: Bambucina). Se realizaron dos aplicaciones: el día de establecimiento de la plantación, por inmersión rápida de los esquejes, y al mes de establecida, usando el drench para todos los bioestimulantes, excepto el Green Sol 48 y Green Sol 70. Los reguladores de crecimiento se aplicaron según la dosis comercial. El diseño experimental usado fue bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones por tratamiento. Se utilizaron 1440 esquejes de semilla comercial como material experimental. Cada unidad experimental fue de 0,36 m² y la parcela útil fue de 0,075 m². Se evaluaron las variables sobrevivencia, sanidad de raíz, sanidad de follaje, desarrollo de raíz, follaje y tamaño del esqueje. No se encontró efecto de tratamiento en el número de hojas, mientras que para las demás variables hubo efecto significativo, siendo el tratamiento Bambucina el que presentó mayor porcentaje de sobrevivencia (79,43%); Radix 35 indujo mayor volumen de raíces (0,27 cm³) y peso seco de la parte aérea (0,65 g); Stimulate fue mayor en longitud de esqueje (4,45 cm) y Green Sol 70 presentó mayores valores de longitud de la raíz (4,68 cm) y peso seco de la raíz (0,06 g).

Key words

Ipecac, growth regulators, Proroot®, Radix® 35, Green Sol 48®, Green Sol 70®, Stimulate®, Rooting®.

Abstract

Ipecacuanha (*Psychotria ipecacuana*) is the only species with medicinal use in the humid tropics grown commercially under the shade of the forest. In this trial, the survival and growth of terminal root cuttings at the field level was evaluated, subjected to seven commercial rhizogenesis promoters (T2: PROROOT®, T3: RADIX® 35, T4: Green Sol 48, T5: Green Sol 70, T6: ROOTING®, T7: Stimulate and T8: Bambucina). Two applications were made: the day the plantation was established, by rapid immersion of the cuttings, and one month after it was established, using the drench for all the biostimulants, except Green Sol 48 and Green Sol 70. Growth regulators were applied according to the commercial dose. Randomized complete blocks (DBCA) was used, with four replicates per treatment. Each experimental unit was 0.36 m² and the useful plot was 0.075 m². The variables survival, root health, foliage health, root development, foliage and cutting size were evaluated. No effect of treatment was found in the number of leaves, while for the other variables there was a significant effect, with the Bambucina treatment being the one that presented the highest percentage of survival (79,4%); Radix 35 induced a greater volume of roots (0,27 cm³) and dry weight of the aerial part (0,65 g); Stimulate was higher in cutting length (4,45 cm) and Green Sol 70 presented higher values of root length (4,68 cm) and root dry weight (0,06 g).

Recibido: Noviembre del 2020

Aceptado: Julio del 2021

Publicado: Diciembre del 2022

DOI: 10.18845/rath.v3i2.6613

1 Ing. Agrónomo, ✉ronny07castroc@gmail.com

2 Docente, Escuela de Agronomía, CTLSC-ITCR, agadea@itcr.ac.cr

Introducción

Psychotria ipecacuanha (Brotero) Stokes conocida como raicilla, ipecacuana o ipecac, es una planta nativa de bosques húmedos y cálidos de América que se distribuye desde Nicaragua a Brasil y es la única especie con uso medicinal del trópico húmedo sembrada bajo la sombra del bosque [1, 2]. En Costa Rica, las plantaciones de raicilla se circunscriben a la región Huetar Norte, en los cantones de Los Chiles, Guatuso y San Carlos [2]. Rosales-López *et al.* [3] señalan que del extracto de su raíz se obtienen los alcaloides emetina y cefalina, que le confieren un poder emético y amebicida.

La comercialización de *P. ipecacuanha* es importante en las exportaciones de Costa Rica. Según PROCOMER [4], en el 2018, Costa Rica exportó 11 toneladas de raicilla, principalmente hacia mercados de China y Reino Unido. Los rendimientos reportados en la región Huetar Norte del país son variables: Rodríguez [5] señala que los mismos oscilan desde 1150 kg/ha hasta 4000 kg/ha, Ocampo [1] indica rendimientos de raíz seca de 2800 kg/ha y Araya [6] reporta rendimientos de raíz seca de 700 kg/ha en el cantón de Guatuso, los cuales pueden atribuirse a factores como características edafoclimáticas, plantaciones mal nutridas, condiciones fitosanitarias del material vegetativo y prácticas asociadas al establecimiento del cultivo.

La raicilla puede propagarse *in vivo* por semilla y por esquejes, con el inconveniente que la semilla sexual pierde rápidamente su viabilidad después de su recolección [7], mientras que la propagación por material vegetativo conlleva a un crecimiento lento de la planta y pérdidas de estacas por problemas derivados del enraizamiento [6, 8]. En la producción comercial de ipecacuana por esquejes se ha evaluado el uso de fitohormonas ([7, 9, 10], así como diferentes sustratos [11] y niveles de luz [12]. También se ha experimentado con la propagación *in vitro*, con resultados aceptables [5, 8, 13, 14].

Siendo que de la ipecacuana se comercializa la parte radical con un alto valor comercial, resulta de importancia indagar nuevas formas de estimular y acelerar el enraizamiento, e inducir con ello un incremento en los rendimientos. En este contexto, el objetivo de este ensayo fue evaluar el efecto

de diferentes promotores de rizogénesis de venta en el comercio, sobre el crecimiento de esquejes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en San Carlos, Costa Rica.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en Finca Ipecacuana del Norte, en Moravia de Cutris, San Carlos, Alajuela. El sitio se encuentra a 110 msnm, entre las coordenadas planas CRTM05 459895 longitud oeste y 1187281 latitud norte. La temperatura promedio en el sitio es de 26°C y la precipitación anual promedio es de 3000 mm. La región se ubica en la zona de Bosque Húmedo Tropical, según el diagrama de zonas de vida de Holdridge.

El periodo de estudio comprendió entre setiembre de 2018 y enero de 2019, en un área experimental de 11,5 m² dividida en 32 unidades experimentales de 0,36 m² cada una. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar debido a una gradiente topográfica en el área experimental. El material vegetal utilizado consistió en 1440 esquejes de similar tamaño de dos ecotipos comerciales de raicilla, conocidos como hoja fina y canasta, sembrados a una distancia de 5 cm entre plantas y 10 cm entre hileras, a razón de 45 plantas por unidad experimental. El área útil de medición consistió en los 15 esquejes centrales de cada unidad experimental.

Los tratamientos evaluados fueron siete productos enraizantes o promotores de crecimiento, aplicados el día de siembra y al mes de siembra, además de un testigo (sin promotor), descritos en el Cuadro 1.

Los tratamientos T2, T3, T6, T7 y T8 se aplicaron sumergiendo los esquejes en el producto durante un minuto el día de la siembra, y al *drench* al mes de sembrados. Los tratamientos T4 y T5 se aplicaron de manera foliar. Cuatro meses después de la siembra se contabilizaron las plantas vivas, número de hojas verdaderas en el esqueje, longitud del esqueje, longitud de raíces y volumen de raíces. Además, se determinó el peso seco de la parte aérea y peso seco de raíces por secado del material en un horno de aire forzado (55° C por 72 horas).

Se utilizó la técnica de modelos lineales mixtos y generales (MLMix) con corrección de heterocedasticidad y se realizó la prueba de comparación DGC para encontrar diferencias

Cuadro 1. Promotores de rizogénesis comerciales utilizados en el ensayo de crecimiento de esquejes terminales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en San Carlos, Costa Rica.

Table 1. Commercial rhizogenesis promoters used in the growth test of terminal in “raicilla” cuttings (*Psychotria ipecacuanha*) in San Carlos, Costa Rica.

Trat	Producto	Promotor	Concentración	Dosis (L/ha)
T1	Testigo	Sin promotor		
T2	PROROOT®	Auxina	ANA 11,2 ppm AIB 0,8 ppm	400 g / 100 L H ₂ O
T3	RADIX® 35	Auxina	AIB 1500 ppm	1 tableta / 2 L H ₂ O
T4	GREEN SOL 48	Citocininas Giberelinas	Citoc 0,1 ppm Giber 0,2 ppm	600 g / 600 L H ₂ O
T5	GREEN SOL 70	Citocininas	Citoc 0,175 ppm	600 g / 600 L H ₂ O
T6	ROOTING®	Citocininas Auxinas	AIB 18 ppm Cit 0,6 ppm	3 l / 200 L H ₂ O
T7	STIMULATE	Citoquinina Ácido giberélico Auxinas	Citoc 0,225 ppm Acid Gi 0,125 ppm AIB 0,125 ppm	500 cc / 200 L H ₂ O
T8	BAMBUCINA	Auxinas		88,7 ml / 20 L H ₂ O

significativas entre tratamientos. Los análisis estadísticos se ejecutaron con el programa estadístico Infostat/P [16], con un nivel de significancia de 0,05 para todas las variables, excepto la sobrevivencia ($\alpha = 0,1$).

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos para las variables de crecimiento vegetativo del esqueje, tanto de la parte aérea como de la raíz, así como de la sobrevivencia.

Sobrevivencia

En esta investigación se encontró efecto de tratamiento ($p=0,0999$, $\alpha=0,1$) para la variable sobrevivencia de esquejes de raicilla. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Testigo (T1), Radix 35 (T3), Rooting (T6) y Stimulate (T7) se comportaron estadísticamente igual entre sí con los valores más bajos de sobrevivencia; y que Proroot (T2), Green Sol 48 (T4), Green Sol 70 (T5) y Bambucina (T8) mostraron valores superiores, siendo Bambucina (T8) el de mayor sobrevivencia (79,4%) (Cuadro 2). Los altos valores encontrados en T2, T4, T5 y T8 pueden relacionarse con la presencia de

reguladores de crecimiento y macroelementos como nitrógeno y fósforo y sus efectos positivos en producción y desarrollo de raíces, crecimiento rápido de la planta, aporte de energía y transporte de carbohidratos, entre otros. Por su parte, el mayor promedio de porcentaje de sobrevivencia del T8 respecto a los demás tratamientos puede deberse a que la Bambucina es un enraizador orgánico y, según INTAGRI [17], estos contribuyen a que la planta genere más pelos radicales que con el uso de enraizadores sintéticos, e incrementa la capacidad de absorción de nutrientes, resultando en una mayor sobrevivencia.

Por otro lado, el bajo porcentaje de sobrevivencia de esquejes del tratamiento Radix 35 (T3) puede estar vinculado a que la aplicación de auxinas en altas concentraciones estimula la producción de etileno en algunas células, lo que puede ocasionar senescencia en los órganos de las plantas de raicilla, induciéndolas a morir [18]. Solís [9] en un ensayo donde evaluó diferentes dosis de auxinas (AIA y AIB) en inmersión rápida en brotes terminales de raicilla, encontró altos porcentajes de sobrevivencia (94%) al aplicar 1500 ppm de AIB, valores que no concuerdan con los encontrados en la presente investigación.

Cuadro 2. Media y error estándar de variables de sobrevivencia y crecimiento medidas en esquejes de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*), en San Carlos, Costa Rica.

Table 2. Mean and standard error of survival and growth variables measured in “raicilla” cuttings (*Psychotria ipecacuanha*), in San Carlos, Costa Rica.

Tratamiento	Sobrevivencia(%)	Parte aérea		Raíz	
		Número hojas	Longitud (cm)	Volumen (cm ³)	Longitud (cm)
Testigo	65,00 ± 10,99 b	7,44 ± 0,91	3,54 ± 0,24 b	0,13 ± 0,05 b	4,14 ± 0,49 b
Proroot	73,90 ± 3,33 a	11,97 ± 3,15	4,15 ± 0,21 a	0,21 ± 0,04 a	4,70 ± 0,48 a
Radix 35	49,43 ± 9,27 b	9,5 ± 1,46	4,04 ± 0,50 a	0,27 ± 0,08 a	4,11 ± 0,46 b
Green Sol 48	75,00 ± 2,30 a	8,39 ± 1,85	3,62 ± 0,15 b	0,10 ± 0,04 b	3,86 ± 0,66 b
Green Sol 70	73,33 ± 8,16 a	10,39 ± 2,06	3,63 ± 0,25 b	0,22 ± 0,06 a	4,68 ± 0,32 a
Rooting	62,23 ± 7,60 b	7,37 ± 1,81	4,22 ± 0,19 a	0,18 ± 0,06 a	3,57 ± 0,96 b
Stimulate	62,78 ± 5,70 b	9,54 ± 1,03	4,45 ± 0,18 a	0,13 ± 0,04 b	3,67 ± 0,05 b
Bambucina	79,43 ± 6,44 a	8,90 ± 1,49	4,15 ± 0,32 a	0,15 ± 0,03 b	4,28 ± 0,47 b
p - valor	0,0999	0,2256	0,0277	0,0105	0,0039

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas, según la prueba DGC.

Trueman [19], en una investigación donde evaluó el efecto de dosis crecientes de auxinas y citocininas en esquejes de *Eucalyptus pellita* y *E. grandis* x *E. pellita*, encontró que el porcentaje de sobrevivencia fue mayor cuando se aplicó BA (citocinina) respecto al control, para los dos tipos de esquejes. Los resultados de la presente investigación indicaron un comportamiento similar en los tratamientos que presentaban citocininas en su formulación (T4 y T5), no así para los tratamientos T6 y T7, los cuales contenían citoquininas y auxinas, los cuales no presentaron diferencias significativas respecto al Testigo; sin embargo, es importante aclarar que los últimos dos tienen en su formulación otros reguladores de crecimiento además de citocininas. En la investigación de Trueman no hubo diferencias significativas en el porcentaje de sobrevivencia de esquejes al aplicar dosis de 0, 7,4 y 14,8 mM de IBA (auxina) excepto para la dosis de 39,4 mM de IBA donde el porcentaje de sobrevivencia fue el menor en los dos tipos de esquejes. Estos datos concuerdan con los encontrados en la presente investigación cuando se compara el efecto sobre la sobrevivencia de la aplicación del regulador de crecimiento auxínico Radix 35 (T3) el cual contiene una alta dosis de AIB y que fue estadísticamente igual al Testigo.

Nótese que en la presente investigación se observó diferencias significativas respecto al Testigo al aplicar el regulador de crecimiento auxínico Proroot (T2), el cual contiene una baja dosis de AIB. Por otra parte, Durango y Humanez [20], en una investigación donde evaluaron el efecto de tres concentraciones (0; 500 y 1000 ppm) de la auxina ANA sobre el enraizamiento de esquejes de *Cheilocostus speciosus*, encontraron que con el tratamiento de alta concentración de auxinas (1000 ppm) se presentó el menor porcentaje de sobrevivencia respecto a los demás tratamientos, resultados que no concuerdan con los encontrados en la presente investigación, dado que el T2 mostró alta sobrevivencia.

Cantidad de hojas

No hubo efecto de tratamiento para la variable cantidad de hojas ($p=0,2256$) (Cuadro 2). La organogénesis en las plantas está vinculada a la combinación y concentración de los reguladores de crecimiento, específicamente auxinas y citocininas [18]. El número de hojas presente a los cuatro meses de establecido el cultivo puede depender de factores como la senescencia de las mismas por aplicación de reguladores de crecimiento,

como explican Trueman y Adkins [21], quienes indican que las auxinas también pueden inducir a la abscisión de hojas al estimular la producción de etileno.

Es importante mencionar que al tener como medio de propagación esquejes de plantas de raicilla de un año de sembradas, es probable que esos esquejes contengan células diferenciadas que pronto llegarían a ser hojas nuevas provenientes de puntos de crecimiento con desarrollo variable, característica que se manifestó en la variabilidad en cantidad de hojas obtenidas en los distintos tratamientos, siendo T2 el que presentó numéricamente más hojas (12) y T6 la menor cantidad (7).

Por otra parte, Steller [22], en un estudio donde evaluó la calidad de las plantas de almácigo de café en respuesta a la aplicación de dos de los promotores de enraizamiento aquí utilizados (Green Sol 48® y Green Sol 70®) en tres diferentes dosis cada uno, halló que para la variable de número de hojas no hubo diferencias significativas entre el control y el tratamiento donde aplicó la dosis comercial recomendada del producto Green Sol 70, concordando así con esta investigación.

Longitud del esqueje

Se presentó efecto por tratamiento ($p=0,0277$) en la variable longitud del esqueje. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Testigo (T1), Green Sol 48 (T4), Green Sol 70 (T5) mostraron los valores más bajos y estadísticamente similares; mientras que en los tratamientos Proroot (T2), Radix 35 (T3), Rooting (T6), Stimulate (T7) y Bambucina (T8) la longitud del esqueje fue estadísticamente superior y también similar entre sí, siendo el T7 el que presentó mayor longitud de esqueje (4,45 cm) (Cuadro 2).

Al analizar lo anterior y considerando que el T7 a pesar de no mostrar diferencias con otros tratamientos, tendió a ganar más longitud de tallo, es importante indicar que ese efecto positivo puede vincularse a que este tratamiento cuenta en su formulación con tres de los principales grupos de reguladores de crecimiento (auxinas, giberelinas y citocininas), los cuales cumplen funciones específicas en los órganos de las plantas. Tal como indican Jordan y Casaretto [23], dentro de los efectos fisiológicos en las plantas, las auxinas contribuyen al crecimiento y elongación celular, en

especial por el incremento en la expansión celular. Durango y Humanez [20] al evaluar el efecto de tres concentraciones (0; 500 y 1000 ppm) de ANA sobre el enraizamiento de esquejes de *Cheilocostus speciosus*, no encontraron diferencias en la longitud del tallo entre los tratamientos que presentaban auxinas respecto al control, caso contrario a los resultados obtenidos en esta investigación, donde todos los reguladores de crecimiento que contenían auxinas superaron al tratamiento Testigo. Respecto a los efectos fisiológicos de las giberelinas, Jordan y Casaretto [23] indican que su aplicación principalmente induce al crecimiento, mientras que la elongación del tallo es debido a una estimulación intensa de la división y elongación celular en la porción sub-apical tanto en los tallos como en el meristemo intercalar. En concordancia con este ensayo, Norato [24], en una investigación que realizó en maíz y aplicaciones de dosis crecientes del Stimulate, encontró que las plantas suplementadas con dicho producto superaron en altura al tratamiento control (sin Stimulate).

Por otra parte, los tratamientos Green Sol 48 (T4) y Green Sol 70 (T5), que no mostraron diferencias estadísticas respecto al Testigo, tienen la particularidad de que ambos poseen en su formulación citocininas. Respecto a los efectos fisiológicos de las citocininas, Jordan y Casaretto [23] indican que la aplicación de ese regulador estimula la progresión del ciclo celular; Salisbury y Ross [18] indican que rara vez las cantidades endógenas de citocininas son limitantes para el crecimiento de tallos y raíces, por lo que afirman que su aplicación exógena no favorece al crecimiento de esos órganos. Otra particularidad que presentó este ensayo fue la aplicación foliar de estos productos, Salisbury y Ross [18] señalan que el transporte de citocininas por el sistema aéreo es muy limitado, factor que pudo influir negativamente en la efectividad de este regulador.

A pesar de lo expuesto, Steller [22] evaluó la respuesta ante dos enraizadores (Green Sol 48® y Green Sol 70®) y encontró que su aplicación en la dosis comercial superó al control en la altura de tallo, resultados que no concuerdan con los encontrados en el presente trabajo.

Volumen de raíces

Se presentó efecto de tratamiento ($p=0,0105$) para la variable volumen de raíces. La prueba

de comparación de medias determinó que los tratamientos Testigo (T1), Green Sol 48 (T4), Stimulate (T7) y Bambucina (T8) se comportaron estadísticamente igual entre sí; mientras que los tratamientos Proroot (T2), Radix 35 (T3), Green Sol 70 (T5) y Rooting (T6) mostraron valores de volumen de raíz estadísticamente superiores, siendo el tratamiento Radix 35 (T3) el que mayor promedio de volumen de raíz presentó (0,27 cm³) (Cuadro 2).

El T2, T3 y T6 contienen ácido indolbutírico (AIB), auxina utilizada para promover la formación de raíces adventicias [25]. La aplicación de altas concentraciones de auxinas provoca la inhibición del crecimiento de la raíz principal y estimula la formación de raíces laterales [25]. El mismo comportamiento se observó en este ensayo, donde las plantas del T3 visiblemente presentaron mayor número de raíces laterales (variable no contemplada en el estudio) pero de corta longitud, lo cual pudo influir en un elevado volumen de raíz por planta. Soto *et al.* [26] en un experimento para determinar el efecto de la época de aplicación de AIB sobre el enraizamiento de plantas de *Ficus benjamina* L, hallaron que al aplicar dosis de 1500 ppm de AIB se obtuvo mayor volumen de raíces, resultados muy similares a los encontrados en el presente ensayo.

Por otra parte, Salisbury y Ross [18] indican que la aplicación de giberelinas tiene poco efecto sobre el crecimiento de la raíz y además inhibe la formación de raíces secundarias. Debido a lo anterior es que el T4 y T7 pudieron presentar los más bajos valores en volumen de raíces de raicilla, ya que en la formulación de ambos hay ácido giberélico.

Además, es importante mencionar que tanto el T2 como el T5 poseen en su formulación química 50% de fósforo aprovechable (P₂O₅), elemento que tiene como función facilitar la formación rápida y crecimiento de raíces [17].

Longitud de raíz

Se presentó efecto de tratamiento (p= 0,0039) en la variable longitud de raíz. La prueba de comparación de medias determinó que el Testigo (T1), Radix 35 (T3), Green Sol 48 (T4), Rooting (T6), Stimulate (T7) y Bambucina (T8) se comportaron igual entre sí; mientras que Proroot (T2) y Green Sol

70 (T5) mostraron longitud de raíz estadísticamente superior (Cuadro 2).

Es importante mencionar que el T5 (Green Sol 70) y T2 (Proroot) tienen la particularidad de presentar más de 50% de fósforo aprovechable (P₂O₅), macroelemento que interviene en la formación y crecimiento de las raíces. Además, el T2 se compuso por dos tipos de auxinas (ANA y AIB) y como se ha indicado, su efecto fisiológico en la rizogénesis se ha atribuido a los efectos en la división, crecimiento y diferenciación celular, así como al incremento en el transporte de carbohidratos y estimulación en la síntesis de ADN en células donde se aplica la sustancia [23, 27].

Ruiz y Mesén [27], en un estudio donde evaluaron el efecto de cuatro dosis de ácido indolbutírico (AIB), regulador encontrado en T2, encontraron resultados que coinciden con los de este ensayo. Por otra parte, Araya [6] en un ensayo que realizó para determinar el efecto de cuatro dosis (0,5 cc, 10 cc y 15 cc) de Rooting® (T6 de este ensayo) sobre el crecimiento de la raíz y el aumento de la masa de la misma en el cultivo de raicilla, encontró que la aplicación de este bioestimulante no mostró diferencias con respecto al tratamiento control, resultados que concuerdan con los encontrados en la presente investigación.

Además, Steller [22], en un estudio donde evaluó la calidad de las plantas de almácigo de café en respuesta a la aplicación de dos promotores de enraizamiento (Green Sol 48® y Green Sol 70®), a tres diferentes dosis cada uno, encontró que para la variable de longitud de la raíz se presentaron diferencias entre el control y el tratamiento donde aplicó la dosis comercial recomendada del producto Green Sol 70, siendo mayor la longitud de raíz cuando se aplicó el regulador de crecimiento, resultados coincidentes con los obtenidos en este estudio.

Pesos secos

En el Cuadro 3 se muestran los valores obtenidos en los pesos secos de la parte aérea, parte radical y la totalidad del esqueje para cada tratamiento evaluado.

Se presentó efecto de tratamiento (p<0,0001) en las variables peso seco de la parte aérea y peso seco total. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Testigo (T1), Green

Cuadro 3. Media y error estándar de los pesos secos de la parte aérea, parte radical y del esqueje de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*), en San Carlos, Costa Rica.

Table 3. Mean and standard error of the dry weights of the aerial part, root part and of the root cutting (*Psychotria ipecacuanha*), in San Carlos, Costa Rica.

Tratamiento	Parte aérea (g)	Parte radical (g)	Total esqueje
Testigo	0,42 ± 0,04 b	0,03 ± 0,01 b	0,45 ± 0,04 b
Proroot	0,65 ± 0,03 a	0,05 ± 0,00 a	0,71 ± 0,03 a
Radix 35	0,65 ± 0,14 a	0,05 ± 0,00 a	0,60 ± 0,14 a
Green Sol 48	0,47 ± 0,08 b	0,03 ± 0,01 b	0,49 ± 0,08 b
Green Sol 70	0,64 ± 0,05 a	0,06 ± 0,01 a	0,69 ± 0,06 a
Rooting	0,39 ± 0,02 b	0,04 ± 0,01 a	0,42 ± 0,03 b
Stimulate	0,60 ± 0,03 a	0,03 ± 0,00 b	0,63 ± 0,03 a
Bambucina	0,56 ± 0,02 a	0,05 ± 0,01 a	0,61 ± 0,03 a
p -valor	<0,0001	0,0005	<0,0001

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba DGC.

Sol 48 (T4) Rooting (T6) se comportan igual entre sí; y que Proroot (T2), Radix 35 (T3), Green Sol 70 (T5), Stimulate (T7) y Bambucina (T8) mostraron valores de peso seco de la parte aérea y peso seco totales superiores (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos por Steller [22] en su investigación con Green Sol 48 y Green Sol 70 no coinciden con los encontrados en el presente trabajo ya que este autor no encontró diferencias al comparar contra el Testigo, mientras que en este ensayo el Green Sol 70 favoreció en esta variable respecto al testigo.

Es importante mencionar que para el tratamiento que generó el menor peso seco aéreo (T6), se esperaría una mayor producción de raíces y no de otras estructuras vegetativas al presentar alta concentración de auxinas y baja concentración de citocininas, ya que la interacción entre ambas estimula la formación de raíces en los esquejes [28].

Por su parte, el T7 fue estadísticamente superior al Testigo. Dicho tratamiento cuenta en su composición con giberelinas, regulador que podría fomentar el aumento en el peso seco de la parte aérea, ya que como lo menciona Steller [22], las giberelinas incrementan la capacidad de absorción de agua y la capacidad de retención de la misma en algunos tejidos vegetales.

Se encontró efecto de tratamiento ($p = 0,0005$) en la variable de peso seco de raíz. La prueba de comparación de medias determinó que el Testigo (T1), Green Sol 48 (T4) y Stimulate (T7) se comportaron igual entre sí; mientras que en los tratamientos Proroot (T2), Radix 35 (T3), Green Sol 70 (T5), Rooting (T6) y Bambucina (T8) el peso seco de la raíz fue estadísticamente superior, siendo Green Sol 70 (T5) el que mayor peso presentó (0,06 g) (Cuadro 3).

Green Sol 70 (T5) y Proroot (T2) presentaron la misma proporción de nitrógeno y fósforo en su composición; y la similitud con el tratamiento Rooting es la presencia del mismo regulador de crecimiento (citocinina), la cual aumenta la producción de materia seca en los tejidos aéreos y parte radical de la planta. Sin embargo, Francescangeli y Zagabria [29] al asperjar cuatro concentraciones de BA (citocininas) aplicadas en plantas de petunia, hallaron que el mayor peso seco de raíz se dio en el tratamiento control (sin producto). Por su parte, Steller [22] no encontró efecto del producto Green Sol 70 en diferentes dosis, al compararlo con el control.

Finalmente, es indispensable señalar la relación entre los tratamientos Proroot (T2) y Green Sol 70 (T5) con los más altos valores en las variables de longitud de raíz, y peso seco de la parte aérea y de

la parte radical de la planta de ipecacuana, además de mostrar valores de sobrevivencia y volumen de raíz entre los más altos. Ambos productos tienen similar proporción de los macroelementos nitrógeno (N, 10 a 11%) y fósforo (P_2O_5 , 52 a 55%) combinación que comúnmente se conoce como fosfato monoamónico (MAP), aunque con reguladores de crecimiento distintos: en el caso de Proroot aparecen dos tipos diferentes de auxinas y Green Sol 70 solo presenta citocininas, por lo que los resultados sugieren que los altos valores numéricos en las variables mencionadas fueron provocados no solo por la presencia de auxinas y citocininas, sino porque los macroelementos cumplen funciones indispensables que generan mejor respuesta en los esquejes respecto a crecimiento y desarrollo. Navarro [30] indica que el nitrógeno forma parte de proteínas y moléculas relevantes como purinas o pirimidinas, y es constituyente de clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos primordiales para la fotosíntesis y la respiración. Por otro lado, el fósforo en las plantas es indispensable para su crecimiento, participando tanto en producción como transporte de carbohidratos, grasas y proteínas, y cuando se aplica en abundante cantidad promueve el crecimiento rápido y de mayor tamaño de hojas, así como estimula el rápido crecimiento de la raíz de la plántula y la buena captación de nutrientes y humedad.

Conclusiones

Se encontró efecto de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Green Sol 48, Green Sol 70 y Bambucina sobre el porcentaje de sobrevivencia de esquejes terminales de raicilla. El resto de tratamientos (Radix 35, Rooting y Stimulate) no mostraron diferencias significativas en comparación con el tratamiento testigo (sin producto).

Ninguno de los promotores de rizogénesis mostró un efecto significativo sobre el número de hojas.

Se encontró efecto de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Radix 35, Rooting, Stimulate y Bambucina sobre la longitud del esqueje de raicilla. El resto de tratamientos (Green Sol 48 y Green Sol 70) no mostraron diferencias significativas en comparación con el Testigo.

Se encontró efecto de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Radix 35, Green Sol 70 y Rooting sobre el volumen de raíces de raicilla. El resto de tratamientos (Green Sol 48, Stimulate y Bambucina) no mostraron diferencias significativas en comparación con el Testigo.

Se encontró efecto ante la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot y Green Sol 70 sobre la longitud de raíz de raicilla. El resto de tratamientos (Radix 35, Green Sol 48, Rooting, Stimulate y Bambucina) no mostraron diferencias significativas en comparación con el Testigo.

Se encontró efecto altamente significativo ante la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Radix 35, Green Sol 70, Stimulate y Bambucina sobre el peso seco de la parte aérea de raicilla. El resto de tratamientos (Green Sol 48 y Rooting) no mostraron diferencias significativas en comparación con el Testigo.

Se encontró efecto significativo ante la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Radix 35, Green Sol 70, Rooting y Bambucina sobre el peso seco de la raíz. El resto de tratamientos (Green Sol 48 y Stimulate) no mostraron diferencias significativas en comparación con el Testigo.

Recomendaciones

Ampliar la investigación hacia tratamientos con un solo regulador de crecimiento (sea auxinas o citocininas o giberelinas) a diferentes dosis.

Replicar esta investigación haciendo uso de los siete diferentes ecotipos de raicilla que se han descrito en el país, para conocer el comportamiento de cada uno, asegurándose que existan las condiciones de manejo apropiado para este cultivo.

Bibliografía

- [1] R. Ocampo, "Ipecacuana. Un producto no madeable cultivado bajo el bosque en Costa Rica", *Agronomía Costarricense*, vol. 31, no. 1, pp. 113-119, 2007.
- [2] E. Arnáez, I. Moreira, M. Navarro, "Manejo agroecológico de nueve especies de plantas de uso medicinal tradicional cultivadas en Costa Rica", San José: Universidad de Costa Rica y Tecnológica de Costa Rica, 2016.

- [3] C. Rosales-López, R. Muñoz-Arrieta, A. Abdelnour-Esquivel, "Emetine and cephaeline content in plants of *Psychotria ipecacuanha* in Costa Rica", *Revista Colombiana de Química*, vol. 49, no. 2, pp: 18-22, 2020.
- [4] PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica), "Portal estadístico de comercio exterior", Disponible en: http://sistemas.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx_, 2019.
- [5] A. Rodríguez, "Organogénesis *in vitro* de la raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) con sustitución de insumos", Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara, 2015.
- [6] J. Araya, "Rizogénesis directa en esquejes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) utilizando seis concentraciones de ácido indol -3 – butírico", Tesis Lic. Universidad Estatal a Distancia, Montes de Oca, San José, 2015.
- [7] S. Isogai, K. Touno, K. Shimomura, "Gibberellic acid improved shoot multiplication in *Cephaelis ipecacuanak*", *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, vol. 44, pp. 216-220, 2008.
- [8] E. Naranjo, A. Urrea, L. Atehortúa, "Avances en la propagación vía embriogénesis somática de *Psychotria ipecacuanha* (Brot.) Stokes, planta medicinal en peligro crítico", *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 16, no. 1, pp. 86-92, 2014.
- [9] J. L. Solís, "Efecto de diferentes dosis de auxinas en el enraizamiento de brotes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*)", Santa Clara, San Carlos", Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara, 1994.
- [10] S. D. Silva, S. Astolfi Filho, "Effect of indolebutyric acid on *in vitro* root production of *Psychotria ipecacuanha* (Brot.) Stokes (Rubiaceae)", *Planta*, vol. 251, no. 3, pp: 1-11, 2020.
- [11] I. Koike, S. Watanabe, K. Okazaki, K. Hayashi, H. Kasahara, K. Shimomura, M. Umehara, "Endogenous auxin determines the pattern of adventitious shoot formation on internodal segments of ipecac", *Planta*, vol. 251, no. 3, pp: 1-11, 2020.
- [12] O. Lameira, A., Campelo, M.F., Moreira, S. de Miranda Rodrigues, A.C.S. Ramires, "Substratos alternativos para propagação vegetativa de *Psychotria ipecacuanha* (Brotero) Stokes", *Research, Society and Development*, vol. 10, no: 5, e49210515158-e49210515158, 2021.
- [13] F. Santos-Ribeiro, C. Moll Huther, J. Ramos de Oliveira, D. Marques Correia, N. Fernandes Rodrigues, R. D. Barros de Almeida, J. Bareto de Moraes, C. Rodrigues Pereira, "Luminosity levels and soil composition influence the growth of ipecacuanha", *Brazilian Journal of Agriculture*, vol. 97, no. 1, pp: 17-31, 2022.
- [14] A. Jiménez-Rivera, W. Montero-Carmona, "Effect of culture media substitutions on *in vitro* growth of ipecac. *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 32, no. 4, pp: 28-38, 2019.
- [15] C. Botero-Giraldo, A.I. Urrea-Trujillo, E.J. Naranjo Gómez, "Potencial de regeneración de *Psychotria ipecacuanha* (Rubiaceae) a partir de capas delgadas de células", *Bothalia* vol. 20, pp: 181-192, 2015.
- [16] J. A. Di Rienzo, F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C. W. Robledo, "InfoStat versión 2018", Córdoba, Centro de Transferencia InfoStat, 2017.
- [17] INTRAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura), "La función de los nutrientes esenciales", 2017. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/nutricion-vegetal-funcion-de-nutrientes-esenciales> [Accesado: 22 Feb., 2019].
- [18] F. B. Salisbury, C. W. Ross. Fisiología vegetal. México: Grupo Editorial Iberoamérica S.A., 2000.
- [19] S. J. Trueman, "Cytokinin and auxin effects on survival and rooting of *Eucalyptus pellita* and *E. grandis* x *E. pellita* cuttings", *Rhizosphere*, vol. 6, pp. 74-76, 2018.
- [20] E. Durango, A. Humanez, "Enraizamiento de esquejes de caña agria (*Chellocostus speciosus*. J. Koenig)", *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 19, no. 2, p. 133-139, 2017.
- [21] S. J. Trueman, M. F. Adkins, "Effect of aminoethoxyvinylglycine and 1-methylcyclopropene on leaf abscission and root formation in *Corymbia* and *Eucalyptus* cuttings", *Scientia Horticultura*, vol. 161, pp. 1-7, 2013.
- [22] E. D. Steller, "Evaluación del efecto de dos productos promotores de enraizamiento en la calidad del almácigo de café (*Coffea arabica* L. cv. Obatá)", en Naranjo, Alajuela, Costa Rica", Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Santa Clara, 2018.
- [23] M. Jordan, J. Casaretto, "Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas", en Fisiología Vegetal, F. A. Squeo, L. Cardemil, La Serena: Ediciones Universidad de La Serena, 2006.
- [24] J. Norato, "Acción del Stimulate en el crecimiento y llenado de mazorcas en maíz (*Zea mays* L.)", *Agronomía Colombiana*, vol. 9, no. 1, pp. 115-118, 1992.
- [25] E.M. Flores, "La planta: estructura y función Volumen II", Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 1999.
- [26] L. E. Soto, J. Jasso, J. Vargas, H. González, V. Cetina, "Efecto de diferentes dosis de AIB sobre el enraizamiento de *Ficus benjamina* L. en diferentes épocas del año", *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, vol. 2, no. 3, pp 795-814, 2006.
- [27] H. Ruiz, F. Mesén, "Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estacilla en el enraizamiento de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)", *Agronomía Costarricense*, vol. 34, no. 2, pp. 259-267, 2010.

- [28] E. F. George, M. A. Hall, G. J. Klerk, "Plant growth regulators ii: cytokinins, their analogues and antagonists", In: Plant propagation by tissue culture, E. F. George, M. A. Hall, G. J. Klerk. Dordrecht: Springer, 2008, pp. 205-226.
- [29] N. Francescangeli, A. Zagabria, "Citoquinina para modificar la arquitectura de planta de petunia", *Información Técnica Económica Agrícola*, vol. 106, no. 1, pp. 46-52, 2010.
- [30] G. Navarro, "Química agrícola", España, Madrid. Mundi-Prensa Libros, 488 p, 2000.

De acuerdo con la norma IEEE, este documento debe citarse:

R. A. Castro-Castillo, A.Gadea-Rivas", Efecto de promotores de rizogénesis sobre el crecimiento de esquejes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en San Carlos, Costa Rica. *Revista AgrolInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 3 no. 2, pp 19-28, 2022. DOI: 10.18845/rath.v3i2.6613.