

**TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS**

**EFFECTO DE PROMOTORES DE RIZOGÉNESIS COMERCIALES
SOBRE EL CRECIMIENTO DE ESQUEJES TERMINALES DE
RAICILLA (*Psychotria ipecacuanha* (Brot.) Stokes) EN MORAVIA,
CUTRIS, SAN CARLOS, COSTA RICA**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

RONNY ALBERTO CASTRO CASTILLO



Carrera de Ingeniería en
Agronomía
Tecnológico de Costa Rica
Sede Regional San Carlos


Santa Clara, 2019

**EFFECTO DE PROMOTORES DE RIZOGÉNESIS COMERCIALES
SOBRE EL CRECIMIENTO DE ESQUEJES TERMINALES DE
RAICILLA (*Psychotria ipecacuanha* (Brot.) Stokes) EN MORAVIA,
CUTRIS, SAN CARLOS, COSTA RICA**

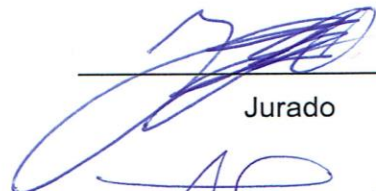
RONNY ALBERTO CASTRO CASTILLO

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc.


Asesor principal

Ing. Biot. Fabián Echeverría Beirute, PhD.


Jurado

Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M. Sc.


Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.


Coordinadora
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Luis Alberto Camero Rey, M. Sc.


Director
Escuela de Agronomía

DEDICATORIA

A Dios Todo Poderoso, por darme la vida, la salud y la sabiduría para culminar con esa etapa.

A la memoria de mi papá, Miguel Castro Rodríguez.

A mi madre quien ha sido por mucho tiempo mamá y papá, por darme la oportunidad de estudiar y poder formarme profesionalmente y por ser mi fuente de inspiración para todas las cosas que hago en mi vida.

A mis hermanos y hermanas por sus aportes para culminar con esta etapa.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente al profesor In. Agr. Arnoldo Gadea Rivas por ayudarme con la realización de este trabajo, por su disposición y por transmitir su conocimiento para poder terminar esta investigación.

A la profesora Marlen Camacho por la ayuda en el análisis estadístico de los datos de este trabajo.

Al señor Daniel Mora Sandoval por haber aceptado realizar este trabajo en su finca y con sus recursos.

A Moisés López por su ayuda en el trabajo de campo de esta investigación.

A los productores de raicilla, Krelín y don Rodolfo Morera por el aporte técnico en el análisis de resultados.

A los profesores Ing. Biot. Fabián Echeverría y al Ing. Agr. Sergio Torres por ser parte del tribunal evaluador.

A todo el personal del Tecnológico de Costa Rica, Campus Tecnológico Local San Carlos, especialmente a los profesores de la Escuela de Agronomía por transmitir todo su conocimiento en cada curso de esta hermosa carrera.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
TABLA DE CUADROS	iii
TABLA DE FIGURAS	iv
TABLA DE ANEXOS	vii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis técnica	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Historia y uso tradicional.....	4
2.2. Clasificación taxonómica	4
2.3. Descripción botánica.....	5
2.4. Prácticas agronómicas asociadas al cultivo de Raicilla	5
2.5. Fitohormonas y Reguladores de crecimiento.....	6
2.5.1 Auxinas.....	6
2.5.2 Citocininas	8
2.5.3 Giberelinas	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1. Descripción del lugar	10
3.2. Periodo de estudio	10
3.3. Área experimental, parcela útil y unidad experimental.....	10
3.4. Material experimental y universo de estudio	12

3.5.	Descripción de los tratamientos	12
3.5.1	Método de aplicación de tratamientos	13
3.6.	VARIABLES DE RESPUESTA A ESTUDIAR	14
3.6.1	Porcentaje de sobrevivencia	15
3.6.2	VARIABLES DE CRECIMIENTO	15
3.6.2.1	Volumen de raíces:.....	15
3.6.2.2	Número de hojas	16
3.6.2.3	Longitud de esqueje:	16
3.6.2.4	Longitud de raíces:	16
3.6.2.5	Peso seco de parte aérea:.....	16
3.6.2.6	Peso seco de raíces:	16
3.6.3	Metodología de toma de datos	16
3.7.	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ARREGLO DE TRATAMIENTOS.....	16
3.7.1	Número de repeticiones y grados de libertad.....	16
3.7.2	Croquis y especificación del diseño de tratamientos.....	17
3.7.3	Modelo estadístico	18
3.8.	PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	19
3.8.1	Análisis de Componentes Principales.....	19
3.9.	Evaluación de los tratamientos	21
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1.	Variable porcentaje de sobrevivencia	22
4.2.	VARIABLES DE CRECIMIENTO.....	25
4.3.	Evaluación de los tratamientos por los productores	38
4.4.	Consideraciones Generales.....	42
5.	CONCLUSIONES	45
6.	RECOMENDACIONES.....	47
7.	LITERATURA CITADA.....	48
8.	ANEXOS.....	56

TABLA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1.	Descripción de los tratamientos a utilizar en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales sobre el crecimiento de esquejes terminales en raicilla (<i>Psychotria ipecacuanha</i>) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	13
2.	Fuentes de variación y sus respectivos grados de libertad en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (<i>Psychotria ipecacuanha</i>) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	17
3.	Tabla de contingencia usada para evaluar los tratamientos en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (<i>Psychotria ipecacuanha</i>) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	21
4.	Resultado del análisis estadístico para las variables desarrollo y sanidad de raíz, sanidad del follaje, follaje y tamaño del esqueje para el conglomerado uno, conglomerado dos y conglomerado tres.	39

TABLA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.	Unidad experimental de cada tratamiento en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.	11
2.	Especificación de la parcela útil (rectángulo de hierro) de cada tratamiento en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.	11
3.	A. Inmersión rápida de esquejes en cada tratamiento; B. Aplicación al Drench, utilizados en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.	14
4.	A. Instrumento usado para delimitar la parcela útil; B. Cosecha de planta con cuchara de construcción, utilizados en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.	15
5.	Distribución completamente al alzar de los tratamientos dentro de los bloques, en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (<i>Psychotria ipecacuanha</i>) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	18
6.	Biplot de análisis de componentes principales para la asociación entre las variables (círculos blancos) y los tratamientos (rombos azules).	20

7.	Efecto de promotores de rizogénesis comerciales en el porcentaje de sobrevivencia de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	22
8.	Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre número de hojas de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	26
9.	Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre el volumen de raíz de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	28
10.	A. Respuesta de tratamiento Testigo; B. Respuesta de tratamiento Proroot; C. Respuesta de tratamiento Radix 35, promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.	29
11.	Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre la longitud del esqueje de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	30
12.	Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre la longitud del raíz de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	33
13.	Efecto de promotores de rizogénesis comerciles sobre el peso seco de la parte aérea de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	35
14.	Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre el peso seco de la raíz de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	37

15. Dendograma de los tratamientos evaluados en esquejes terminales de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

40

TABLA DE ANEXOS

Anexo	Título	Página
1.	Resultado estadístico para las variables número de hojas, longitud de raíz, longitud de esqueje, sobrevivencia y volumen de raicilla, según el tratamiento.	56
2.	Resultado estadístico para las variables, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz de raicilla, según el tratamiento.	57
3.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable porcentaje de sobrevivencia de raicilla.	57
4.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable número de hojas de raicilla.	58
5.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable volumen de raíces de raicilla.	59
6.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable longitud del esqueje de raicilla.	59
7.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable longitud de la raíz de raicilla.	60

8.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable peso seco de la parte aérea de raicilla.	61
9.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable peso seco de la raíz de raicilla.	62
10.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable sanidad de raíz de raicilla.	63
11.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable sanidad de follaje de raicilla.	64
12.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable tamaño del esqueje de raicilla.	64
13.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable desarrollo de la raíz de raicilla.	65
14.	Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable follaje de raicilla.	66
15.	Composición del tratamiento Proroot (T2) en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (<i>Psychotria ipecacuanha</i>) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	67
16.	Composición del tratamiento Green Sol 70 (T5) en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (<i>Psychotria ipecacuanha</i>) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.	67

17. Promedio y desviación estándar por ecotipo de las variables de crecimiento en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019. 68
18. Promedio y desviación estándar por ecotipo de las variables de crecimiento en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019. 68

RESUMEN

Se evaluó la sobrevivencia y el crecimiento en 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 llevaron a cabo dos aplicaciones, la primera el día que se estableció la plantación bajo inmersión rápida y la segunda al mes de establecida usando el Drench para todos los bioestimulantes excepto el Green Sol 48 y Green Sol 70, las dos aplicaciones se hicieron de manera foliar. La aplicación de los reguladores de crecimiento se aplicó según la dosis comercial. El ensayo se realizó en la finca Ipecacuana del Norte ubicada en Moravia de Cutris y la evaluación se llevó a cabo desde el mes de noviembre del 2018 hasta el mes enero del 2019. El diseño experimental usado fue Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones. 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. También, se realizó una evaluación de los tratamientos por parte de cuatro productores en las variables de sanidad de raíz, sanidad de follaje, desarrollo de raíz, follaje y tamaño del esqueje. Los resultados indicaron que respecto al número de hojas no hubo efecto de tratamiento, mientras que para las demás variables hubo efecto significativo, donde el tratamiento Bambucina presentó el mayor promedio de porcentaje de sobrevivencia (79,43 %), Radix 35 indujo un mayor volumen de raíces (0,27 cm³) y peso seco de la parte aérea (0,65 gr), Stimulate fue mayor en longitud de esqueje (4,45 cm), Green Sol 70 fue mayor en las variables en longitud de la raíz (4,68 cm) y peso seco de la raíz (0,06 gr).

Palabras claves: ipecacuana, reguladores de crecimiento, Proroot®, Radix® 35, Green Sol 48®, Green Sol 70®, Stimulate®, Rooting®.

ABSTRACT

Survival and growth of “raicilla” were evaluated in stem cuttings subjected to seven 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 carried out, the first on the day that the plantation was established under rapid immersion and the second one after the month established using the Drench for all biostimulants except Green Sol 48 and Green Sol 70, the two applications were made in a foliar manner. The application of growth regulators was applied according to the commercial dose. The trial was conducted at the Ipecacuana from a North farm located in “Moravia de Cutris” and the evaluation was carried out from November 2018 to January 2019. The experimental design used was a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four repetitions; 1440 commercial seed cuttings were used as experimental material. Each experimental unit was 0.36 m² and the useful plot was 0.075 m². Also, an evaluation of the treatments by four producers in the variables of root health, foliage health, root development, foliage and size of the cuttings was carried out. The results indicated that in the variable number of leaves no significant differences are shown between the treatments while for the other variables there were significant effects, where the Bambucina treatment obtained the highest average survival percentage (79,43%), Radix 35 induced a higher in the volume variables of roots (0,27cm³), dry weight of the aerial part (0,65 gr), Stimulate was greater in stem length (4,45 cm), Green Sol 70 was higher in the variables in root length (4,68 cm) and dry root weight (0,06 gr).

Keywords: ipecac, growth regulators, Proroot®, Radix® 35, Green Sol 48®, Green Sol 70®, Stimulate®, Rooting®

1. INTRODUCCIÓN

La raicilla (*Psychotria ipecacuanha* (Brot.) Stokes), una Rubiaceae originaria de América, es la única especie de uso medicinal del trópico húmedo que se siembra bajo la sombra del bosque. En Costa Rica, las plantaciones de raicilla se circunscriben a la Región Huetar Norte, en los cantones de Los Chiles, Guatuso y San Carlos (Arnáez *et al.* 2016). Ocampo (2007) señala que del extracto de su raíz se obtienen los alcaloides emetina y cefalina, que confieren a la planta un poder emético y amebicida.

La comercialización de *P. ipecacuanha* ha constituido un renglón importante en las exportaciones de Costa Rica. Según PROCOMER (2019), en el año 2018 Costa Rica exportó 11,0 toneladas de raicilla, siendo el mercado principal China y Reino Unido.

Rodríguez (2005), señala que para el año 1991 los rendimientos estimados en la Región Huetar Norte oscilan desde los 1150 kg/ha hasta 4000 kg/ha. Ocampo (2007) indica rendimientos de raíz seca de 2800 kg/ha. Los productores hacen alusión que un rendimiento promedio es la producción de 2300 kg/ha. No obstante, Araya (2012) ha encontrado rendimientos de raíz seca de 700 kg/ha en el cantón de Guatuso, los cuales podrían atribuirse a diversos factores, como las características edafoclimáticas, plantaciones mal nutridas, condiciones fitosanitarias del material vegetativo y prácticas asociadas al establecimiento del cultivo.

La raicilla puede ser propagada por semillas y por esquejes, aunque la propagación con semilla sexual tiene el inconveniente que posterior a su recolección, puede haber pérdida de la viabilidad (Chatterjee *et al.* 1982 citado por Isogai *et al.* 2008). Por su parte, Naranjo *et al.* (2014) indican que la propagación por material vegetativo tiene como limitación un crecimiento lento de la planta.

Para desarrollar su sistema radical, las nuevas plantas atraviesan un rígido proceso de adaptación, y en ocasiones hay pérdida de estacas por factores tanto bióticos como abióticos que no benefician al enraizamiento (Araya 2015).

La semilla asexual es plantada directamente al suelo, sin haberse llevado a cabo un adecuado desarrollo radical en un vivero, ni la aplicación de sustancias hormonales a los esquejes que podrían facilitar el establecimiento y desarrollo de las plantas (Palma *et al.* 2000 citado por Araya 2015). Adicionalmente, los productores no disponen de información sobre los productos que podrían usarse para promover la rizogénesis¹.

Debido a que la parte radical de *P. ipecacuanha* es la que se comercializa y tiene un alto valor, es importante indagar nuevas formas de estimular y acelerar el enraizamiento, lo cual podría inducir un incremento en los rendimientos.

1.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de diferentes promotores de rizogénesis comerciales sobre el crecimiento de esquejes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la aplicación de promotores de rizogénesis comerciales sobre el porcentaje de sobrevivencia en esquejes terminales de raicilla.
- Determinar el efecto de la aplicación de promotores de rizogénesis comerciales sobre variables de crecimiento de esquejes terminales de raicilla.

¹Vargas Arias, A. 8 ago. 2017. Cultivo de raicilla (entrevista). Coopevega, Costa Rica.

1.3 Hipótesis técnica

- Los esquejes de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) tienen mejor crecimiento cuando son tratados con algún promotor de rizogénesis comercial.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Historia y uso tradicional

Psychotria ipecacuanha (Brotero) Stokes, conocida como raicilla, ipecacuana e ipecac, es una planta nativa de los bosques húmedos y cálidos de América y se distribuye desde Nicaragua, Costa Rica, Panamá y la parte norte de Sudamérica hasta Brasil (Arnáez *et al.* 2016; Ocampo 2007).

El extracto de la raíz de ipecacuana se usa como amebicida, emético y expectorante. Los principales componentes son isoquinólicos alcalinos, siendo la emetina el de mayor relevancia para la industria farmacéutica (Trease y Evans 1988 citados por Ocampo y Balick 2009). En Europa la utilización de la raicilla como elemento farmacológico data desde el año 1762; para el año 1940 se convirtió en uno de los productos químicos de la industria más importantes en Estados Unidos y Europa (Sievers and Higbee 1949; Morton 1981 citados por Ocampo y Balick 2009).

2.2. Clasificación taxonómica

La raicilla es parte de la familia Rubiaceae, al género *Psychotria* y especie *ipecacuanha*. Algunos sinónimos que tiene esta planta son: *Calicocca ipecacuanha* Brot, *Cephaelis ipecacuanha* (Brot.) A. Rich., *Evea ipecacuanha* (Brot.) Standl., *Uragoga ipecacuanha* (Brot.) Baill (Ocampo y Balick 2009).

2.3. Descripción botánica

La ipecacuana es un sub arbusto que tiene un tallo semi-leñoso, delgado y retorcido y puede alcanzar un tamaño de 30 cm a los 2,5 años de edad. Sus ramas emitidas a partir de los nudos en su rizoma son cilíndricas de diámetros que van desde los 0,6 a 1,9 cm y los entrenudos pueden tener una longitud de 0,2 hasta 7,0 cm. Las flores son hermafroditas, sésiles y pequeñas de colores crema y blancas que están presentes en número de doce a 150 por inflorescencia. El fruto es de tipo baya pequeña y carnosa, su epicarpio tiene una coloración rojiza y contiene dos semillas de testa dura. Las raíces presentan de 0,6 a 1,7 cm de diámetro y de 20 a 30 cm de longitud a los 2,5 años de edad, de coloración amarillentas o blancas cuando están frescas y una vez secas adquieren un color grisáceo, las raíces se van ramificando con el tiempo (Ocampo y Balick 2009; Alves 2002).

2.4. Practicas agronómicas asociadas al cultivo de raicilla

La raicilla se siembra principalmente mediante esquejes cosechados el mismo día, contengan de seis centímetros a ocho centímetros de largo y de cuatro a seis hojas y de tres a cuatro yemas. La siembra se realiza en camas de 1,5 m de ancho y de 30 cm de alto con separación entre ellas de 40 centímetros (Palma *et al.* 2000; Ocampo 2007). La distancia de siembra entre plantas es de 13 centímetros y entre los surcos oscila entre siete centímetros y nueve centímetros. El control de malezas se hace de forma manual cada cuatro meses. Dentro de las principales enfermedades que atacan a la raicilla está: ojo de gallo (*Mycena citricolor*), pelona que se asocia a un complejo de hongos definidos como *Botryodiplodia* sp, *Fusarium* sp y *Colletotrichum* sp, otra enfermedad que provoca daños a la raicilla es la Llaga (*Rosellinia*) (Palma *et al.* 2000). Ocampo (2007), señala que para obtener una cosecha de calidad, donde los niveles de alcaloides son los más conformes, la misma se debe realizar a los tres o cuatro años.

2.5. Fitohormonas y reguladores de crecimiento

Las fitohormonas son sustancias orgánicas, diferentes a los nutrientes, sintetizadas en ciertos tejidos y transferidas hacia otros tejidos a concentraciones bajas donde lleva a cabo su efecto. Estos compuestos orgánicos promueven, inhiben o modifican de cierta forma cualquier proceso fisiológico vegetal. Hasta el momento se consideran grupos de hormonas vegetales y reguladores de crecimiento a las auxinas, las citocininas, las giberelinas, los brasinosteroides, el etileno, el ácido abscísico, el jasmonato y el ácido salicílico (Fichet 2017; Salisbury y Ross 1994).

2.5.1 Auxinas

La auxina es la hormona vegetal que media en ciertos aspectos del crecimiento y desarrollo de la planta como el desarrollo vascular, iniciación de raíces laterales, dominancia apical, fototropismo, gravitropismo, embriogénesis, maduración de frutos senescencia, elongación y división celular (Fichet 2017). Los efectos de las auxinas pueden clasificarse en dos categorías: la de respuesta rápida como el caso de la elongación celular y la de respuesta de término largo, considerándose la división celular, diferenciación y morfogénesis. Entre las auxinas naturales se encuentran el ácido indolacético (AIA) y ácido indolbutírico (AIB), mientras las de origen sintético son el 2,4- diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido naftalenacético (ANA) (Sitbon y Perrot-Rechenman 1997 citados por Vidales 2002).

El uso de las auxinas en esquejes de ipecacuana y su efecto en el crecimiento y desarrollo de las raíces ha sido demostrado en diversos experimentos. Solís (1994), experimentó con dosis de auxinas (AIB y AIA) de 250 ppm a 2000 ppm aplicados a esquejes de raicilla que fueron sembrados en diferentes sustratos y observó diferencias altamente significativas para el número de raíces, entre todas las dosis de auxinas evaluadas y en comparación con el Testigo; la longitud de las raíces ni el porcentaje de sobrevivencia mostró diferencias significativas entre los tratamientos.

Araya (2012), evaluó en el cultivo de raicilla el efecto de tres dosis de un bioestimulante radicular que contiene auxinas y citocininas en el crecimiento de la raíz y el aumento de la masa de las mismas. En su estudio encontró que la aplicación del bioestimulante no mostró resultados positivos sobre estas variables, ya que los resultados fueron más favorables para los Testigos que para las pruebas con tratamientos.

Araya (2015), utilizó en el cultivo de raicilla seis concentraciones de ácido indol-3-butírico (AIB) y encontró un crecimiento en el número de brotes radiculares según aumento de la dosis. También observó un aumento de la longitud de las raíces hasta la aplicación de la dosis de 2000 ppm de AIB y dosis superiores a 2500 ppm mostraron un decrecimiento de la longitud radicular. Respecto al porcentaje de sobrevivencia de esquejes no se demostró diferencias significativas el efecto de la utilización de AIB.

Ruiz y Mesen (2010), evaluaron el efecto de cuatro dosis de ácido indol butírico (0,00%; 0,10%; 0,15% y 0,20%) y tres tipos de estaquilla (basal, intermedia y apical), sobre el enraizamiento de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), usando cámaras de subirrigación y determinaron que con las dosis de 0,15% y 0,20% de AIB hay un mayor porcentaje de enraizamiento (92,59% y 87,65%), número de raíces (25,94 y 20,05) y mayor longitud de raíz (4,24 cm y 4,57cm).

Pedroza (2009), evaluó el efecto de carbón activado, ácido indolacético y bencil amino purina en el desarrollo de protocormos de *Epidendrum elongatum* bajo condiciones in vitro y observó que los protocormos de *E. elongatum* que se plantaron en medios de cultivo que contenían AIA en una concentración de 0,5 mg. L⁻¹ y carbón activado al 0,5% y 1,0% mostraron un elevado nivel de elongación del vástago, un superior desarrollo radical respecto a cantidad y longitud de raíces, adicionado de un desarrollo común de las estructuras foliares.

2.5.2 Citocininas

Las citocininas estimulan la división celular, favorecen la ramificación lateral, ayudan a la inducción y diferenciación floral, inhiben el desarrollo de pigmentos de la fruta, entre otros (Fichet 2017). Las citocininas de origen natural son la Zeatina, la Benciladenina (BA) y la Bencilaminopurina (BAP), y en las de origen sintético está la Kinetina (KIN) y la 2-isopentiladenina (2iP) (Fichet 2017).

Según George *et al.* (2008), debe existir un equilibrio entre la concentración de auxinas y citocininas para la formación de meristemos radiculares y raíces adventicias, además, esa concentración requerida de cada tipo de regulador difiera mucho según sea el tipo de planta que se esté cultivando, las condiciones culturales y los compuestos utilizados.

Rodríguez *et al.* (2014), en la inducción *in vitro* de callogénesis y organogénesis indirecta con explantes de cotiledón, hipocótilo y hoja en *Ugni molinae* y encontraron que la mayor respuesta rizogénica fue en callos de hojas en un medio de cultivo con 0,1 mg l⁻¹ de ANA + 1,0 mg l⁻¹ de BAP.

Pedroza y Montes (2008), a través de una investigación donde evaluaron cultivos de tejidos vegetales *in vitro* de *Hypericum goyanesii*, encontraron que el tratamiento que contenía AIB y BAP en concentraciones de 0,0 y 0,5 mg l⁻¹ respetivamente, mostraron mayor número de raíces.

Venkatachalam y Jayalaban (1997), en un estudio de cultivos de tejidos de segmentos de cotiledón y nódulos cotiledonarios de *Arachis hypogaea* L, en medio

Murashigue y Skoog (MS) suplementado con diferentes concentraciones de auxinas (AIA, ANA, IBA y 2,4-D) y citocininas (KIN y BAP) hallaron que el número máximo de brotes se obtuvo a partir de segmentos de nódulos cotiledonarios en un medio que contenía BAP (5,0 mg/l) e IBA (1,0 mg/l), mientras que el enraizamiento de brotes regenerados se logró en un medio aumentado con ANA o IBA (2,0 mg/L) en combinación con KIN (0,5 mg/l).

2.5.3 Giberelinas

Las giberelinas estimulan el alargamiento celular de los entrenudos del tallo, interviene en el crecimiento de frutos, en el crecimiento en longitud de la raíz principal e inhiben la ramificación radical, facilita el fotomorfogénesis y promueve la germinación de semillas. Generalmente son empleadas en forma de ácido giberélico. Dentro de las giberelinas naturales se encuentran la: GA₁, GA₃, GA₄, GA₇, GA₉, GA₁₂, GA₂₀, GA₃₂ (Fichet 2017).

En un estudio realizado por Mestanza (2015), donde evaluó el efecto de diferentes dosis de ácido naftalenacético y ácido giberélico (0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 mg/l) en el enraizamiento *in vitro* de *Oreocallis grandiflora*, demostró que la longitud de raíz (2,89 cm) y la altura de la planta (5,73 cm) fue mayor con el tratamiento que contenía 1,00 mg/l de AG₃, también encontró con la concentración de 0,75 mg/l de AG₃, el más alto porcentaje de vitroplantas enraizadas (60%).

Bhattacharya *et al.* (1978), determinaron el efecto sinérgico del ácido giberélico y el ácido indol-3-acético sobre el enraizamiento en esquejes de tallo de *Abelmoschus esculentus* y hallaron que hubo un incremento del número de raíces con el aumento de las concentraciones de GA₃ (10 vs 5 mg/l) y AIA (25 vs 10 mg/l) y el efecto fue más marcado cuando los esquejes se cultivaron en el medio que contenía AIA + GA₃.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del lugar

El presente trabajo se desarrolló en Finca Ipecacuana del Norte. Esta finca se ubica en la comunidad de Moravia del distrito Cutris, en San Carlos, Alajuela. El sitio se encuentra a 110 msnm, en las coordenadas planas CRTM05 459895,70 longitud oeste y 1187281,86 latitud norte.

Ocampo (2015), indica que la temperatura promedio del sitio es de 26 °C y la precipitación anual promedio es de 3000 mm; según Holdridge, la región se ubica en zona de Bosque Húmedo Tropical.

3.2. Periodo de estudio

El estudio se llevó a cabo entre los meses de setiembre del año 2018 y enero del año 2019.

3.3. Área experimental, parcela útil y unidad experimental

El área experimental considerada para la ejecución del ensayo fue de 11,52 m², dividida en 32 unidades experimentales que son parte de cuadro repeticiones pertenecientes a los ocho tratamientos.

Las unidades experimentales fueron de 0,36 m², la misma tuvo una parcela útil como se muestra en la Figura 1, la parcela útil fue de una hilera con una longitud de setenta y cinco centímetros lineales y se muestra en la Figura 2.

Las plantas se sembraron a una distancia de cinco centímetros entre plantas y diez centímetros entre hileras.



Figura 1. Unidad experimental de cada tratamiento en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.



Figura 2. Especificación de la parcela útil (rectángulo de hierro) de cada tratamiento en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.

3.4. Material experimental y universo de estudio

Para la realización del experimento se utilizó como material vegetal 1440 esquejes de raicilla de ecotipo comercial que se obtuvieron de una plantación de un año de edad de la misma finca donde se realizó el ensayo y fueron cosechados por los mismos peones que laboran en esa finca. En la semilla comercial se pudo diferenciar dos ecotipos diferentes los cuales se les conoce como ecotipo hoja fina y ecotipo canasta, el primero se caracteriza por tener las hojas alargadas y angostas, y su tallo es delgado; mientras que en el segundo, la forma de sus hojas se les asemeja a una canasta y su tallo es más grueso².

3.5. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron: 1– Testigo, 2- PROROOT®, 3- RADIX® 35, 4- GREEN SOL 48, 5- GREEN SOL 70, 6- ROOTING®, 7- STIMULATE, 8- Bambucina. En lo que corresponde al tratamiento Testigo no se le hizo ninguna aplicación a los esquejes utilizados. En el Cuadro 1 se puntualiza la información pertinente a los tratamientos

²López, M. 13 jun. 2019. Cultivo de raicilla. (entrevista). Moravia, Cutris, Costa Rica.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos a utilizar en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales sobre el crecimiento de esquejes terminales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

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

3.5.1 Método de aplicación de tratamientos

La aplicación de todos los tratamientos se realizó el mismo día que se sembraron los esquejes y al mes de sembrados.

Los tratamientos T2,T3,T6, T7 y T8 se aplicaron mediante el método de la inmersión de esquejes por un minuto el día de la siembra (Figura 3A) y al mes de sembrados se aplicaron al Drench (Figura 3B).

Los tratamientos T4 y T5 se aplicaron de manera foliar.



Figura 3. A. Inmersión rápida de esquejes en cada tratamiento; B. Aplicación al Drench, utilizados en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.

3.6. Variables de respuesta a estudiar

Todas las variables se evaluaron a los cuatro meses después de la siembra. En la Figura 4 A, se observa el instrumento, el cual consiste en un rectángulo de 75 centímetros de largo y diez centímetros de ancho, que se utilizó para delimitar la parcela útil contemplando el retiro de los bordes para cosechar las plantas. También se usó una cuchara de construcción, como se muestra en la Figura 4 B, para sacar las plantas con un pedazo de suelo para lograr que la mayoría de raíces estén contenidas en el suelo. Posteriormente las muestras se colocaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas y se trasladaron al Laboratorio de Suelos del ITCR,

San Carlos, donde se realizó el lavado de los esquejes para quitar toda presencia de suelo.



Figura 4. A. Instrumento usado para delimitar la parcela útil; B. Cosecha de planta con cuchara de construcción, utilizados en el estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.

3.6.1 Porcentaje de sobrevivencia

El porcentaje de sobrevivencia promedio de las plántulas de raicilla se determinó mediante proporciones, haciendo la relación de la cantidad de plantas existentes con la cantidad de esquejes que se establecieron al inicio por cada repetición en los distintos tratamientos, seguidamente se obtuvo la media por cada tratamiento tomando en cuenta las repeticiones.

3.6.2 Variables de crecimiento

3.6.2.1 Volumen de raíces: para determinar el volumen, se obtuvieron solo las raíces de cada planta de cada unidad experimental, se introdujeron a una probeta de 10 ml que contenía un volumen conocido de agua con alcohol, la diferencia del volumen final menos el volumen inicial determina el volumen de las raíces.

3.6.2.2 Número de hojas: se realizó un conteo manual de las hojas verdaderas de cada esqueje.

3.6.2.3 Longitud de esqueje: se midió en centímetros con una regla de precisión el margen de ganancia con respecto a la altura del esqueje después de la aplicación del promotor de rizogénesis.

3.6.2.4 Longitud de raíces: se midió en centímetros con una regla de precisión desde la base de la raíz hasta la raíz con mayor longitud.

3.6.2.5 Peso seco de parte aérea: la parte aérea de la planta se introdujo en bolsas de papel y se puso a secar en un horno de airea forzado a 55 °C durante 72 horas. Posteriormente, se pesó en una balanza electrónica.

3.6.2.6 Peso seco de raíces: las raíces de cada muestra se introdujeron en bolsas de papel y colocaron en un horno de airea forzado a 55 °C durante 72 horas. Posteriormente, se pesaron en una balanza electrónica.

3.6.3 Metodología de toma de datos

Los datos se recopilaron tanto en el campo como en laboratorio donde se llevó a cabo las mediciones de las diferentes variables a estudiar.

3.7. Diseño experimental y arreglo de tratamientos

Para el establecimiento del ensayo se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar, se seccionó en cuatro bloques y cada bloque contó con ocho tratamientos. El uso del Diseño de Bloques Completos al Azar se justifica porque el sitio donde se estableció el ensayo es una pendiente pronunciada.

3.7.1 Número de repeticiones y grados de libertad

Según el número de bloques y de tratamientos usados en este ensayo se determinan los grados de libertad y se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fuentes de variación y sus respectivos grados de libertad en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloque	3
Tratamiento	7
Error	21
Total	27

3.7.2 Croquis y especificación del diseño de tratamientos

Los cuatro bloques se colocaron en una sola cama con dimensiones de 1,2 m de ancho y 18 m de longitud, en un terreno con pendiente pronunciada donde se establecieron cuatro niveles de gradiente. En la Figura 5, se observa una representación esquemática de la distribución de los tratamientos con sus repeticiones, de acuerdo a la aleatorización dentro de cada bloque.

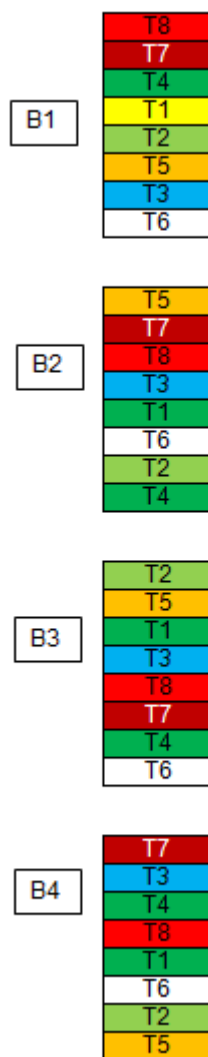


Figura 5. Distribución completamente al azar de los tratamientos dentro de los bloques, en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

3.7.3 Modelo estadístico

Para este estudio se usó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta de los tratamientos.

μ = es la media general.

β_j = es el efecto del j-ésimo bloque.

τ_i = es el efecto del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = es el error experimental de la i-ésima unidad experimental

3.8. Plan de análisis estadístico

Se hizo un análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) con corrección de heterocedasticidad y se realizó la prueba de comparación DGC para encontrar diferencias significativas entre tratamientos.

Posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados basados en un análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para las variables utilizadas en las evaluaciones de los tratamientos por parte de los productores.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa estadístico Infostat/P (Di Rienzo *et al.* 2017), con un nivel de significancia de 0,05.

3.8.1 Análisis de Componentes Principales

Con el fin de identificar las variables más relevantes y la asociación de estas variables con los tratamientos, se realizó un análisis exploratorio con la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP); se comprobó que los dos primeros componentes principales explican el 80% de la variabilidad de la base de datos.

En la Figura 6, se observa que todas las variables consideradas para este estudio son importantes ya que sus autovectores tienen mayor peso sobre el componente principal uno y el componente principal dos. Asimismo, se evidenció que no hay variables redundantes.

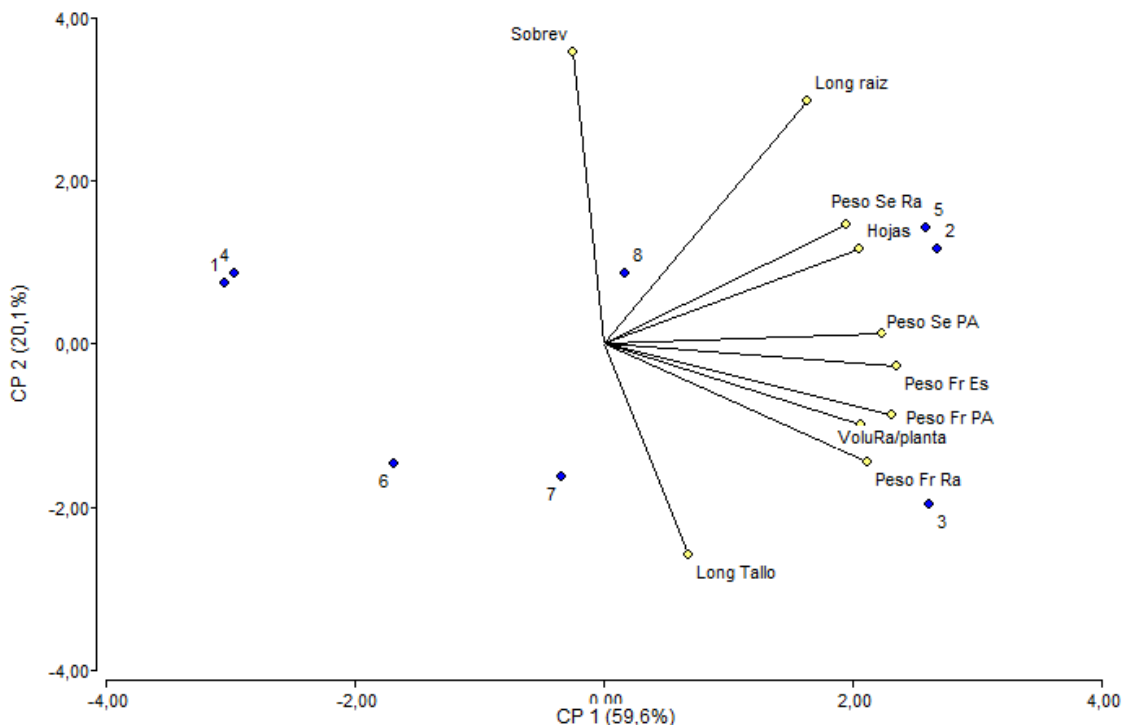


Figura 6. Biplot de análisis de componentes principales para la asociación entre las variables (círculos blancos) y los tratamientos (rombos azules).

En la Figura anterior, se observa que el tratamiento 8 presentó asociación directa con las variables Sobrevivencia y Longitud de raíz.

Los tratamientos 2 y 5 tuvieron asociación directa con las variables de peso seco de la raíz y la cantidad de hojas.

El tratamiento 3 se asoció positivamente a las variables de peso fresco raíz, volumen de raíz y peso fresco de la parte aérea.

La respuesta de los tratamientos 1 y 4 a las variables medidas fue muy similar, así como también la respuesta del tratamiento 6 y 7.

Sin embargo, las variables relacionadas con peso fresco y las de peso seco mantuvieron la misma dirección, de manera que se decidió incluir en el análisis de resultados únicamente las variables de biomasa seca.

3.9. Evaluación de los tratamientos

Se elaboró una tabla de contingencia (Cuadro 3) donde se anotaron los aspectos más importantes para valorar las plantas de ipecacuana según productores de la zona de Coopevega de Cutris. Cuatro productores observaron fotos de los tratamientos y procedieron a evaluar cada uno de acuerdo a una escala del uno al cinco.

Cuadro 3. Tabla de contingencia usada para evaluar los tratamientos en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

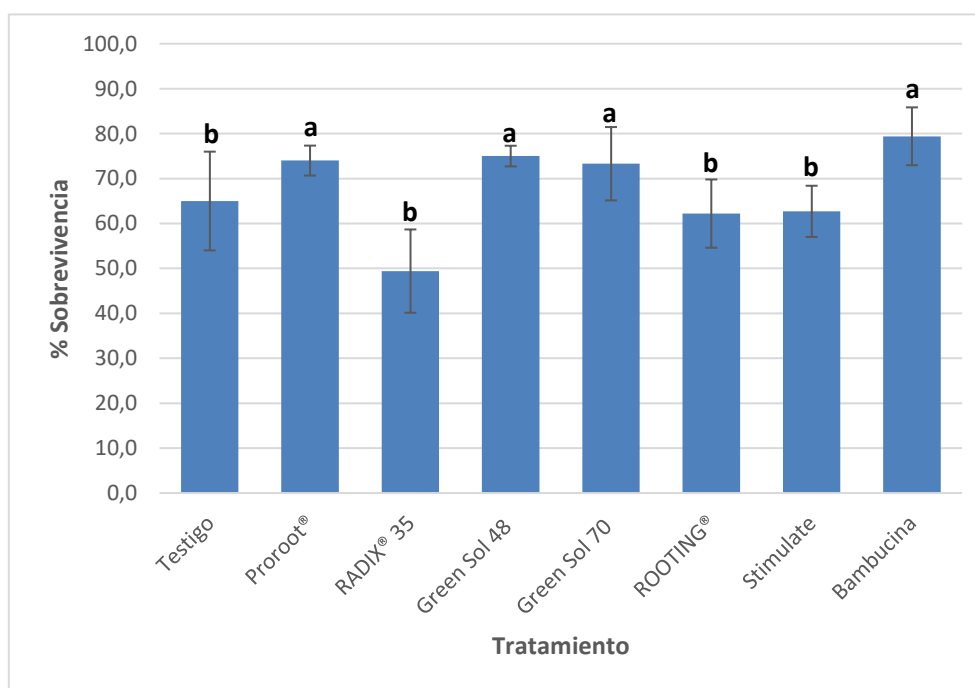
EFECTO DE PROMOTORES DE RIZOGÉNESIS SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE ESQUEJES TERMINALES DE RAICILLA (<i>Psychotria ipecacuanha</i> (Brot.) Stokes) EN MORAVIA, CUTRIS, SAN CARLOS, COSTA RICA							
Calificación de tratamientos							
Fecha: _____				Bloque: _____			
Productor: _____							
Tratamiento	Sanidad	Tamaño	Desarrollo raices	Follaje			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Escala de calificación del 1 al 5							
Donde:							
1: Malo 2: Regular 3: Bueno 4: Muy Bueno 5: Excelente							

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variable porcentaje de sobrevivencia

4.1.1 Sobrevivencia

Se encontró efecto de tratamiento ($p=0,0999$) (Anexo 3) para la variable sobrevivencia de esquejes de raicilla. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Radix 35 (T3), Rooting (T6) y Stimulate (T7) se comportaron estadísticamente igual entre sí y con el Testigo, mientras que los tratamientos Proroot (T2), Green Sol 48 (T4), Green Sol 70 (T5) y Bambucina (T8) mostraron valores estadísticamente superiores al presentado por el Testigo, siendo Bambucina (T8) el de mayor sobrevivencia (80%), como se muestra en la Figura 7.



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

Figura 7. Efecto de promotores de rizogénesis comerciales en el porcentaje de sobrevivencia de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

La sobrevivencia de esquejes se ha relacionado con muchos factores tales como, el genotipo y la calidad de los esquejes, el sitio de siembra y la humedad del suelo, siendo este último el factor más importante para reducir la mortalidad de esquejes recién plantados (Burdett 1990; Mattsson 1996; Stape et al. 2001; Campbell y Hawkins 2004; Close et al. 2005, citados por Thomas 2009).

Por otro lado, Hartmann *et al.* (2002) citado por Castrillón *et al.* (2008) indica que los esquejes con hojas y sin raíces durante las primeras semanas, fácilmente pueden desarrollar déficit hídrico, esto por el aumento de la pérdida de agua por la transpiración y seguidamente puede haber marchitez o incluso la muerte de los esquejes.

Respecto a los resultados analizados, los altos valores encontrados en los tratamientos Proroot, Green Sol 48, Green Sol 70 y Bambucina pueden estar relacionados con la presencia de reguladores de crecimientos y macroelementos como nitrógeno y fósforo y sus efectos positivos en la producción y desarrollo de raíces, en el crecimiento rápido de la planta, en el aporte de energía y transporte de carbohidratos, entre otros (FAO,sf).

Es importante mencionar que, el tratamiento Bambucina presentó el mayor promedio de porcentaje de sobrevivencia con respecto a todos los demás tratamientos. Ese comportamiento podría ser explicado debido a que la Bambucina es un enraizador orgánico, y según INTAGRI (2016), los enraizadores orgánicos tienden a producir más pelos radicales que los enraizadores sintéticos. Adicionalmente, al presentar mayor cantidad de pelos radicales la planta puede aumentar su capacidad de absorción de nutrientes por lo que se esperaría que la planta se adapte más rápido, esté mejor nutrida y con esto lograr mayor sobrevivencia.

Por otra parte, el bajo porcentaje de sobrevivencia de esquejes que se presentó en el tratamiento Radix 35 (T3) puede estar vinculado a que, la aplicación de auxinas en altas concentraciones, estimulan la producción de etileno en algunas

células y esa generación de etileno es probable que provoque senescencia en los órganos de las plantas de raicilla, induciendo a las plantas a morir (Salisbury y Ross 2000).

Solís (1994), 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, datos que no concuerdan con los encontrados en la presente investigación.

Trueman (2018) encontró 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* que el porcentaje de sobrevivencia mayor cuando se aplicaba BA (citocinina) respecto al Testigo para los dos tipos de esquejes. Los datos obtenidos en la presente investigación indicaron un comportamiento igual en los tratamientos que presentaban citocininas en su formulación como lo es Green Sol 48 (T4) y Green Sol 70 (T5), no así para los tratamientos Rooting (T6) y Stimulate (T7) los cuales no presentaron diferencias significativas respecto al Testigo; es importante aclarar que los tratamientos mencionados anteriormente tienen en su formulación otros reguladores de crecimiento además de citocininas. En la investigación de Trueman (2018), no encontró diferencias significativas en el porcentaje de sobrevivencia de esquejes cuando aplicó 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 el cual fue estadísticamente igual al Testigo pero fue el tratamiento que presentó el menor promedio

de porcentaje sobrevivencia. A pesar de lo anterior, en la presente investigación se observó diferencias significativas cuando se aplicó el regulador de crecimiento auxínico Proroot respecto al tratamiento Testigo, datos discordantes con los presentados por Trueman (2018).

Carvajal (2018), en un ensayo que realizó en el cultivo de raicilla donde aplicó dosis de Radix a 3000 ppm, 1500 ppm y un tratamiento Testigo en el cual no aplicó ningún producto, encontró que la sobrevivencia fue mayor en el tratamiento Testigo y al evaluar visualmente los tratamientos donde incorporó Radix 35, el autor señala que las plantas presentaban problemas de quema³. Esos resultados encontrados por el autor concuerdan con los obtenidos en este ensayo.

Asimismo, Durango y Humanez (2017), en una investigación donde evaluó el efecto de tres concentraciones (0,0; 500 y 1000 ppm de ANA) sobre el enraizamiento de esquejes de *Cheilocostus speciosus*, encontró que con el tratamiento de alta concentración de auxinas (1000 ppm) presentó el menor porcentaje de sobrevivencia respecto a los demás tratamientos, datos que concuerdan con los encontrados en la presente investigación.

4.2. Variables de crecimiento

4.2.1 Número de hojas

No se presentó efecto de tratamiento para la variable número de hojas ($p=0,2256$) (Anexo 4), como se observa en la Figura 8

³Carvajal, C. 28 feb. 2019. Cultivo de raicilla (entrevista). Santa Clara, Costa Rica

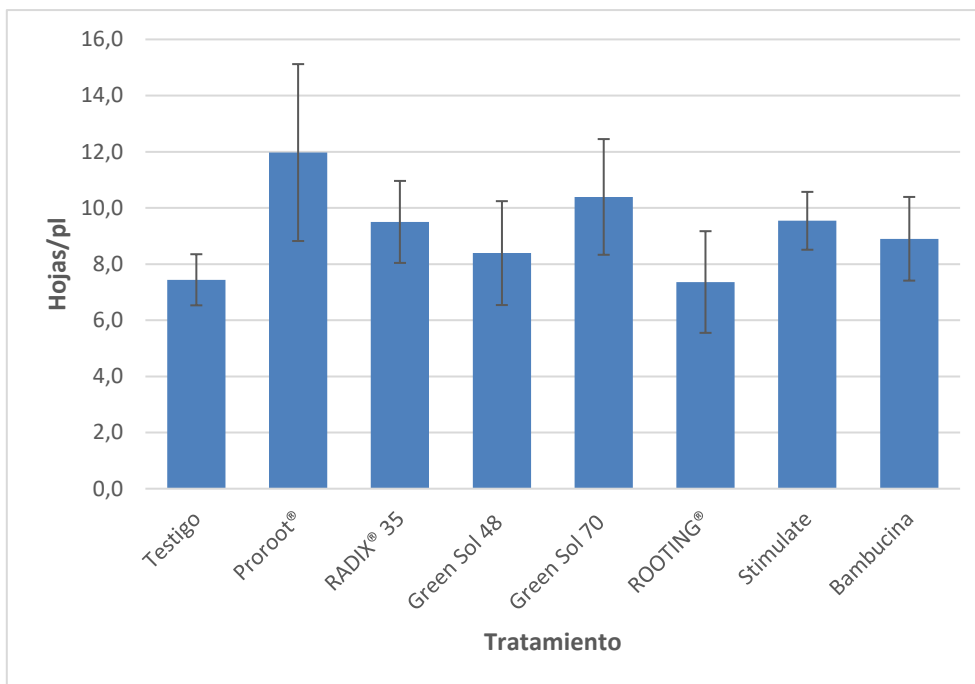


Figura 8. Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre número de hojas de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

La organogénesis en las plantas está vinculada a la combinación y la concentración de los reguladores de crecimiento, específicamente de las auxinas y citocininas Salisbury y Ross (2000), elementos que no fueron considerados en este estudio.

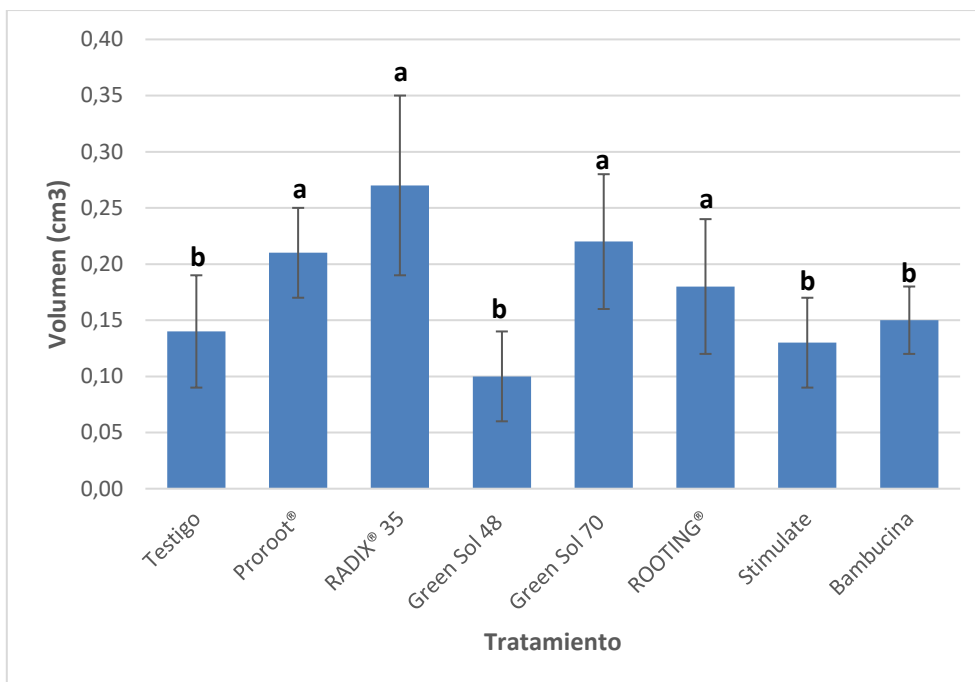
Por otra parte, el número de hojas presente a los cuatro meses de haber establecido el cultivo puede depender de factores como la senescencia de las mismas por aplicación de reguladores de crecimiento, tal y como lo explican Trueman y Adkins (2013), que indican que las auxinas también pueden inducir 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 amplitud de cantidad de hojas mostradas en la Figura 8.

Por otra parte, Steller (2018), 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, halló que para la variable de número de hojas, no hay diferencias significativas entre el tratamiento Testigo y el tratamiento donde aplica la dosis comercial recomendada del producto Green Sol 70, concordando con los datos obtenidos en esta investigación.

4.2.2 Volumen de raíces

Se presentó efecto de tratamiento ($p=0,0105$) (Anexo 5) para la variable volumen de raíces. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Green Sol 48 (T4), Stimulate (T7) y Bambucina (T8) se comportaron estadísticamente igual entre sí y con el Testigo, mientras que los tratamientos Proroot (T2), Radix 35 (T3), Green Sol 70 (T5) y Rooting (T6) mostraron valores de volumen de raíz estadísticamente superior al tratamiento Testigo, siendo el tratamiento Radix 35 (T3) el que mayor promedio de volumen de raíz presentó ($0,27 \text{ cm}^3$), como se observa en la Figura 9.



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

Figura 9. Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre el volumen de raíz de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Los tratamientos Radix 35, Proroot y Rooting contienen ácido indolbutírico, auxina que, según Flores (1999) se utiliza para promover la formación de raíces adventicias. También indica que la aplicación de altas concentraciones de auxinas provoca la inhibición del crecimiento de la raíz principal y estimulan la formación de raíces laterales. Este mismo comportamiento se observó en este ensayo, en donde las plantas del tratamiento Radix 35 analizadas visiblemente presentaron un mayor número de raíces laterales (variable no contemplada para este estudio) pero de corta longitud, lo cual puede influir en un elevado volumen de raíz por planta.

Soto *et al.* (2006) en un experimento que realizó 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 obtiene un mayor volumen de raíces, datos muy similares a los encontrados en el presente ensayo.

Por otra parte, Salisbury y Ross (2000) indican que la aplicación de giberelinas tiene poco efecto sobre el crecimiento de la raíz y además inhiben la formación de raíces secundarias. Debido a lo anterior es que los tratamientos Green Sol 48 y Stimulate pueden estar presentando los más bajos valores en volumen de raíces de raicilla ya que dentro de la formulación de estos dos productos se encuentran los ácidos giberélicos.

Es importante mencionar que el tratamiento Green Sol 70, al igual que el tratamiento Proroot, poseen en su formulación química un 50% de fósforo aprovechable (P_2O_5), elemento que tiene por función el de facilitar la formación rápida y crecimiento de raíces (FAO, sf; Intagri, 2017).

En la Figura 10, se muestra una comparación de la respuesta de enraizamiento de los tratamientos T2: Proroot y T3: Radix 35 contra el T1: Testigo.

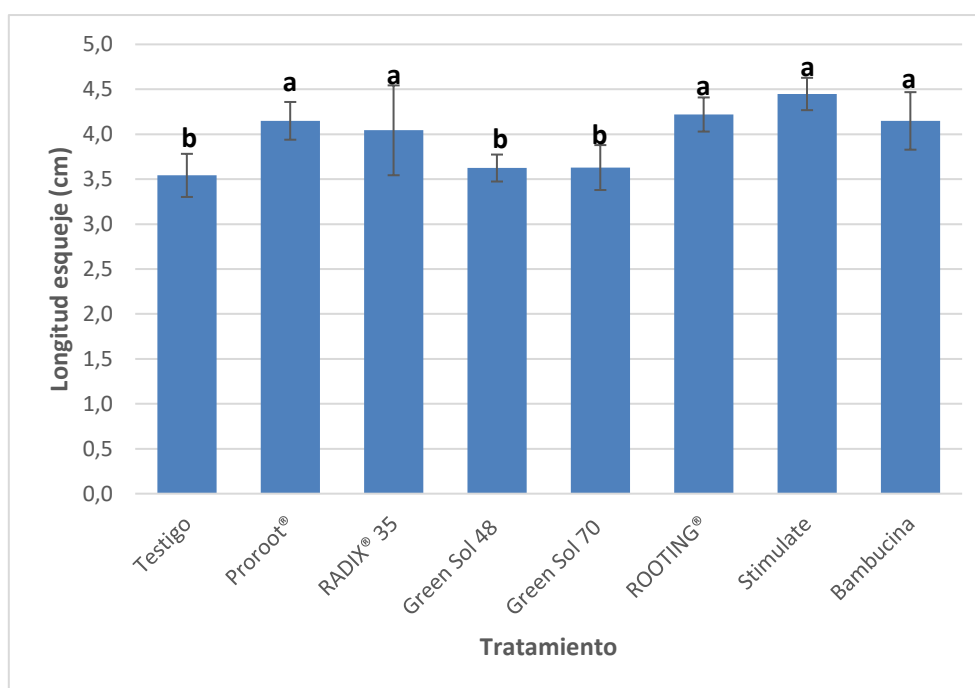


Figura 10. A. Respuesta de tratamiento Testigo; B. Respuesta de tratamiento Proroot; C. Respuesta de tratamiento Radix 35, promotores de rizogénesis comerciales en raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, Alajuela. 2019.

4.2.3 Longitud del esqueje

Se presentó efecto de tratamiento ($p=0,0277$) (Anexo 6) para la variable longitud del esqueje. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos

Green Sol 48 (T4), Green Sol 70 (T5) se comportan igual entre sí y con el Testigo, mientras que en los tratamientos Proroot (T2), Radix 35 (T3), Rooting (T6), Stimulate (T7) y Bambucina (T8) la longitud del esqueje fue estadísticamente superior al tratamiento Testigo, siendo el tratamiento Stimulate (T7) el que mayor longitud de esqueje presentó (4,45 cm), como se observa en la Figura 11.



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

Figura 11. Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre la longitud del esqueje de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Al analizar los resultados anteriores y considerando que el tratamiento Stimulate, a pesar que no mostró diferencias significativas con otros tratamientos, tendió a ganar más longitud de tallo que todos, es importante indicar que ese efecto positivo puede estar vinculado 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 y como lo indica Jordan y Casaretto (2006), las auxinas, dentro de sus efectos fisiológicos en las plantas está el crecimiento y elongación celular. Dicho crecimiento

está estimulado principalmente por el incremento en la expansión celular. Asimismo, estos autores señalan que el efecto más notable al aplicar giberelinas es la inducción 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. Con respecto a los efectos fisiológicos de las citocininas, estos mismos autores indican que la aplicación de este grupo de reguladores estimula la progresión del ciclo celular.

Durango y Humanez (2017), en una investigación donde evaluó el efecto de tres concentraciones (0; 500 y 1000 ppm de ANA) sobre el enraizamiento de esquejes de *Cheilocostus speciosus*, no encontró diferencias significativas sobre la longitud del tallo entre los tratamientos que presentaban auxinas respecto al tratamiento Testigo, caso contrario a los resultados obtenidos en esta investigación, donde todos los reguladores de crecimientos que contenían auxinas siempre fueron estadísticamente superiores al tratamiento Testigo.

Norato (1992), en una investigación que realizó en el cultivo de maíz, con aplicaciones de dosis crecientes del bioestimulante Stimulate, encontró que las plantas sometidas a los tratamientos de Stimulate con respecto al tratamiento Testigo (sin Stimulate) alcanzaron una mayor altura.

Kaufman *et al.* (1981) citado por Kopper (2015), realizó un ensayo donde evaluó la aplicación de dosis crecientes de ácido giberélico en tres cultivares de caña de azúcar y encontró que al aplicar de manera exógena el ácido giberélico se provoca la elongación de los tallos y que conforme se incrementa las dosis de ácido giberélico, se presenta un aumento en la alturas de los tallos.

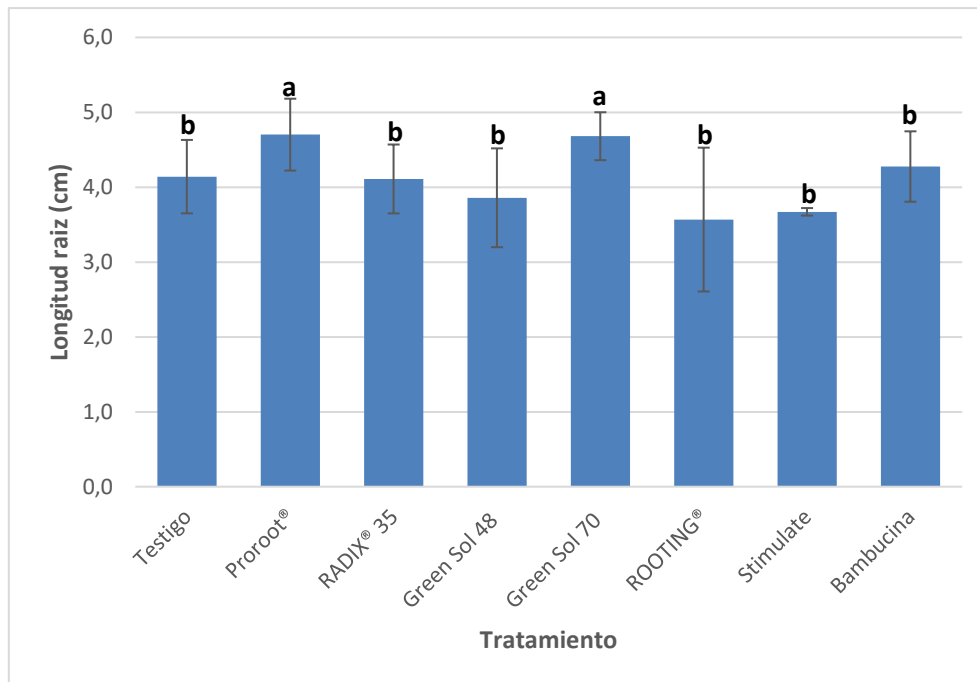
Por otra parte, los tratamientos Green Sol 48 (T4) y Green Sol 70 (T5), los cuales no mostraron diferencias significativas respecto al Testigo, tienen la particularidad de que ambos poseen en su formulación citocininas; Salisbury y Ross (2000) indican que rara vez las cantidades endógenas de citocininas son limitantes para el

crecimiento de tallos y raíces, por lo que afirman que la aplicación exógenas de esos reguladores de crecimiento no favorecen al crecimiento de esos órganos. Otra particularidad que presentan los reguladores de crecimiento anteriormente mencionados es que ambos son aplicados de manera foliar, que es la forma de aplicación que se recomienda en la ficha técnica de producto; Salisbury y Ross (2000), señalan que, el transporte de citocininas por el sistema aéreo es muy limitado, factor que puede estar influyendo negativamente la efectividad del regulador de crecimiento.

A pesar de lo expuesto anteriormente, Steller (2018), 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 para la longitud del tallo, que las respuestas de la aplicación de estos reguladores de crecimiento en la dosis comercial fueron estadísticamente superiores al tratamiento Testigo, datos que no concuerdan con los encontrados en el presente trabajo.

4.2.4 Longitud de raíz

Se presentó efecto de tratamiento ($p=0,0039$) (Anexo 7) para la variable longitud de la raíz. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Radix 35 (T3), Green Sol 48 (T4), Rooting (T6), Stimulate (T7) y Bambucina (T8) se comportaron igual entre sí y con el Testigo, mientras que los tratamientos Proroot (T2) y Green Sol 70 (T5) mostraron longitud de raíz estadísticamente superior al tratamiento Testigo, como se observa en la Figura 12.



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

Figura 12. Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre la longitud del raíz de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

El tratamiento T2 (Proroot), estuvo compuesto por dos tipos de auxinas (ANA y AIB), nitrógeno (N) al 11% y fósforo aprovechable (P_2O_5) al 55%. Como se ha indicado, el efecto fisiológico de las auxinas en el proceso de rizogénesis ha sido atribuido a los efectos sobre la división, crecimiento y diferenciación celular, así como también al incremento de transporte de carbohidratos y la estimulación en la síntesis de ADN en células donde se aplica la sustancia (Ruiz y Mesén 2010; Jordan y Casaretto 2006).

Es importante mencionar que, el Tratamiento T5 (Green Sol 70) y el T2 (Proroot) fueron los tratamientos que presentan mayor longitud de raíz y entre ellos son estadísticamente iguales. La particularidad de estos dos tratamientos es que, dentro de su composición química tienen más de 50% de fósforo aprovechable

(P₂O₅), y como se mencionó anteriormente este macroelemento interviene en la formación y crecimiento de las raíces.

Ruíz y Mesen (2010), en un estudio donde evaluaron el efecto de cuatro dosis de ácido indolbutírico y tres tipos de estaquilla a nivel de vivero, encontraron resultados que coinciden con los de este ensayo.

Fagro (s.f.) evaluando el efecto de Proroot sobre el crecimiento de raíz en tomate utilizando como tratamientos un Testigo, un Testigo comercial y cuatro dosis crecientes de Proroot, descubrieron que en tres de los cuatro tratamientos con Proroot la longitud de la raíz fue superior respecto al Testigo.

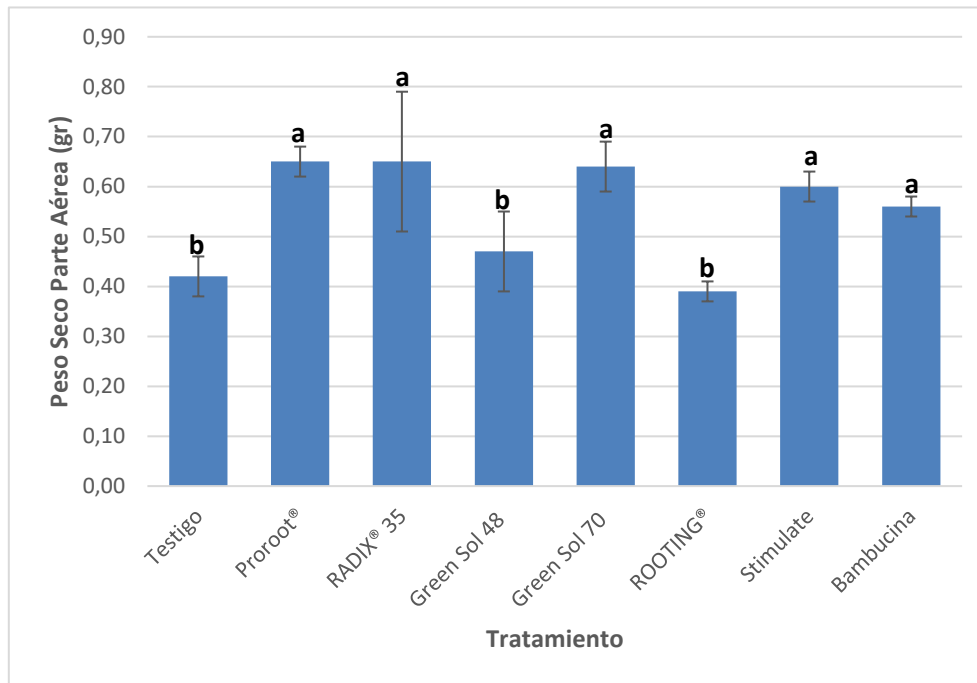
Araya (2012), en un ensayo que realizó para determinar el efecto de cuatro dosis (0,5cc, 10cc y 15 cc) del bioestimulante Rooting en el crecimiento de la raíz y el aumento de la masa de la misma, en el cultivo de raicilla, encontró que la aplicación del bioestimulante no mostró diferencias con respecto al tratamiento Testigo, datos que concuerdan con los encontrados en la presente investigación.

Steller (2018), 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, existen diferencias significativas entre el tratamiento Testigo y el tratamiento donde aplica la dosis comercial recomendada del producto Green Sol 70, siendo mayor la longitud de raíz cuando se aplica el regulador de crecimiento, datos que son coincidentes con los obtenidos en este estudio.

4.2.5 Peso seco de la parte aérea

Se presentó efecto de tratamiento ($p=0,0001$) (Anexo 8) para la variable peso seco de la parte aérea. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Green Sol 48 (T4) Rooting (T6) se comportan igual entre sí y con el Testigo, mientras que los tratamientos Proroot (T2), Radix 35 (T3), Green Sol 70

(T5), Stimulate (T7) y Bambucina (T8), mostraron valores de peso seco de la parte aérea superiores al tratamiento Testigo, como se observa en la Figura 13.



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

Figura 13. Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre el peso seco de la parte aérea de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Los datos obtenidos por Steller (2018) en la investigación anteriormente descrita no coinciden con los encontrados en el presente trabajo ya que este autor no descubrió diferencias estadísticamente significativas cuando se compara los tratamientos Green Sol 48 y Green Sol 70 con el tratamiento Testigo, mientras que en este ensayo el tratamiento Green Sol 70 favoreció, siendo superior estadísticamente el peso seco de la parte aérea respecto al Testigo.

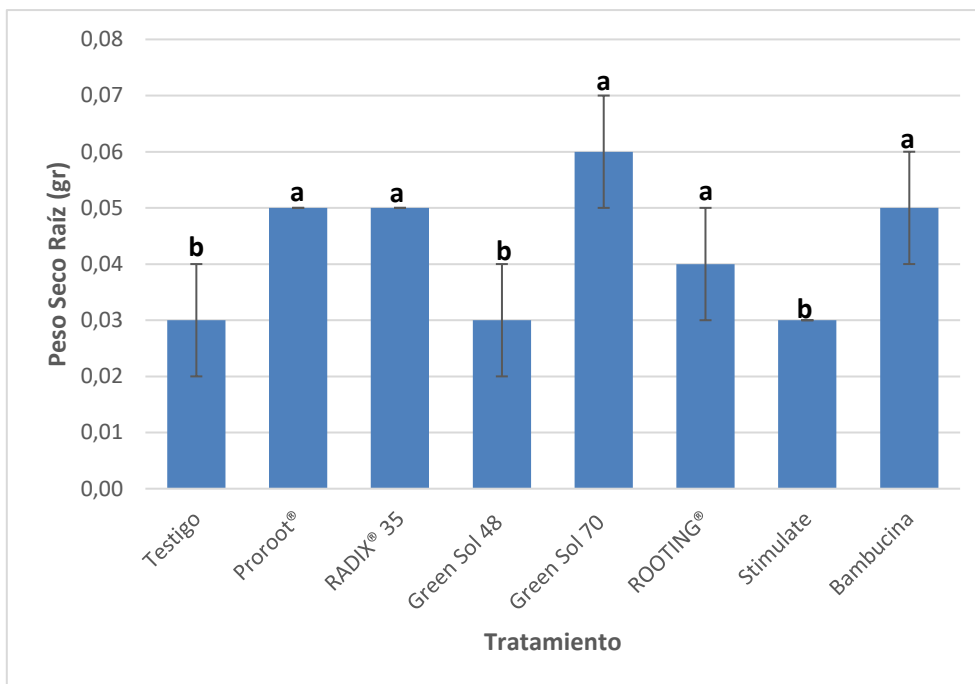
Es importante mencionar que en el Tratamiento de Rooting (valor más bajo), de acuerdo a su composición química (alta concentración de auxina y baja concentración de citocininas), se esperaría una mayor producción de raíces y no de

otras estructuras vegetativas, tal y como lo indica George *et al.* 2008, la interacción entre las concentraciones de auxinas y citocininas estimulan la formación de raíces en los esquejes.

Por otro lado, el tratamiento Stimulate fue estadísticamente superior al Testigo, este tratamiento cuenta en su composición con giberelinas y este regulador de crecimiento es lo que puede estar fomentando ese aumento en el peso seco de la parte aérea ya que como lo menciona Hanzhi y colaboradores (1995) citado por Steller (2018) las giberelinas incrementan la capacidad de absorción de agua y la capacidad de retención de la misma en ciertos tejidos vegetales.

4.2.6 Peso seco de la raíz

Se encontró efecto de tratamiento ($p=0,0005$) (Anexo 9) para la variable de peso seco de la raíz. La prueba de comparación de medias determinó que los tratamientos Green Sol 48 (T4), Stimulate (T7) se comportan igual entre si y con el Testigo, 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 al tratamiento Testigo, siendo el tratamiento Green Sol 70 (T5) el que mayor peso seco de raíz presentó (0,06 gramos), como se muestra en la Figura 14.



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

Figura 14. Efecto de promotores de rizogénesis comerciales sobre el peso seco de la raíz de esquejes de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Esta variable está relacionada con el volumen de las raíces, ya que dentro del conjunto de tratamientos que se comportó estadísticamente igual y sus valores fueron más altos que el tratamiento Testigo, están: Proroot, Radix 35, Green Sol 70 y Rooting; y dichos tratamientos presentan el mismo comportamientos para esta variable. El tratamiento Green Sol 70 presenta la similitud con el tratamiento Proroot de tener la misma proporción de Nitrógeno y Fosforo en su composición, mientras que, la similitud con el tratamiento Rooting es que presentan el mismo regulador de crecimiento (citocinina).

Emongor (1995) citado por Ambuko *et al.* (2003) menciona que la aplicación de citocininas aumenta la producción de materia seca en los tejidos aéreos y parte radical en la planta.

Francescangeli y Zagabria (2010), en una investigación donde compararon cuatro concentraciones de BA (citocininas) aplicadas en plantas de petunias por el método de aspersion en tres momentos diferentes, hallaron que el mayor peso seco de raíz se dio en el tratamiento Testigo de 0 mg l⁻¹, resultados completamente contrarios a los encontrados en el presente ensayo.

Los datos obtenidos en esta investigación no se asemejan a los hallados por Steller (2018) ya que en ese estudio no encontró efecto al aplicar la dosis comercial de Green Sol 70 cuando se compara con el tratamiento Testigo, mientras que en el presente trabajo si se encontraron diferencias significativas.

4.3. Evaluación de los tratamientos por los productores

Se realizó un análisis de conglomerados donde se diferenciaron tres grupos con diferencias significativas entre ellos (Wilks, p=0,0146).

En el Cuadro 4 se muestra las medias y el error estándar para cada variable según los conglomerados.

Cuadro 4. Resultado del análisis estadístico para las variables desarrollo y sanidad de raíz, sanidad del follaje, follaje y tamaño del esqueje para el conglomerado uno, conglomerado dos y conglomerado tres.

Variable	Conglomerado			p- valor
	1	2	3	
	(T1, T6 y T7)	(T2,T3,T5 y T8)	(T4)	
	Media	Media	Media	
Desarrollo raíz	2,55 ± 0,22 b	3,19 ± 0,12 a	2,50 ± 0,18 b	0,0038
Follaje	2,53 ± 0,26	3,06 ± 0,18	2,75 ± 0,43	0,2551
Sanidad follaje	2,57 ± 0,25	2,87 ± 0,18	2,78 ± 0,31	0,6294
Sanidad raíz	3,19 ± 0,31	3,58 ± 0,12	3,68 ± 0,17	0,3960
Tamaño esqueje	2,71 ± 0,18	3,09 ± 0,10	2,95 ± 0,10	0,1667

*Para cada variable, medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba DGC.

En la siguiente Figura se muestra el dendograma para la agrupación de los conglomerados.

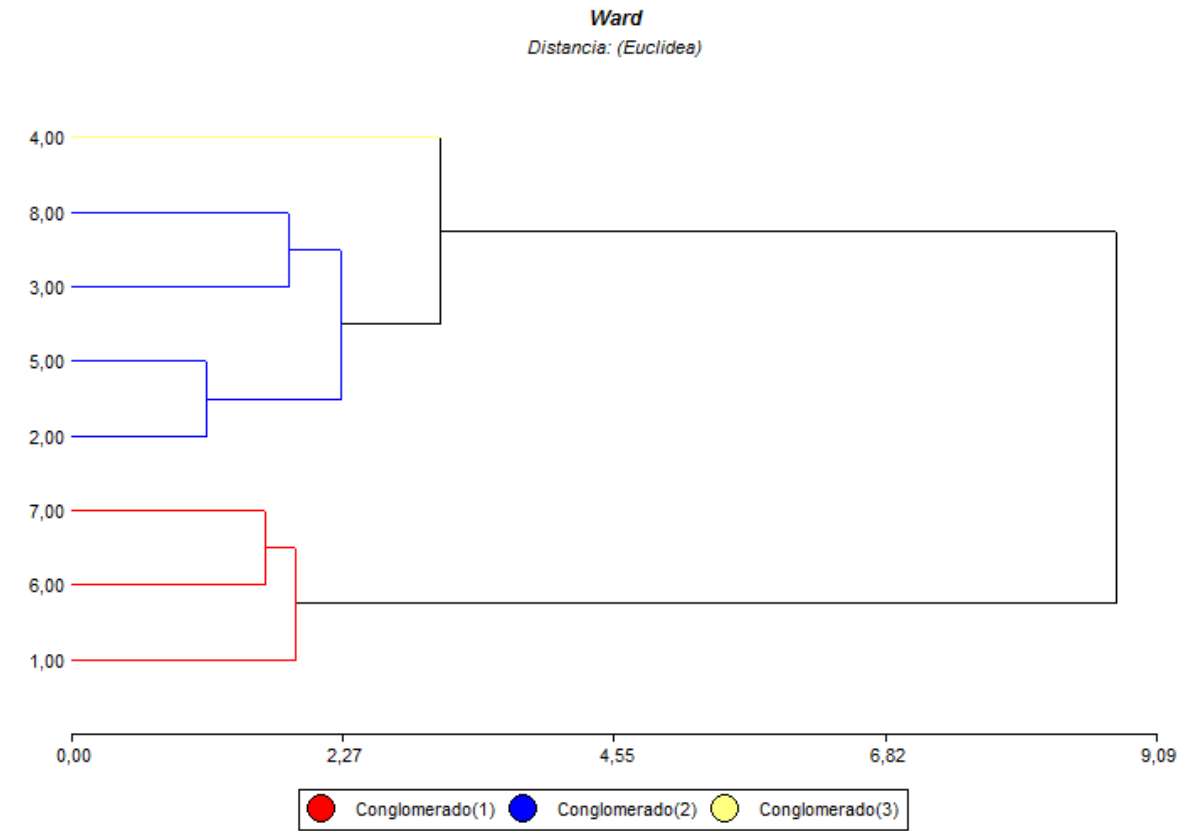


Figura 15. Dendograma de los tratamientos evaluados en esquejes terminales de raicilla, Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Considerando el dendograma mostrado en la Figura 15, la agrupación de los tratamientos se dio de la siguiente manera, los tratamientos T1: Testigo, T6: Rooting y T7: Stimulate se agrupan en el conglomerado uno, los tratamientos T2: Proroot, T3: Radix35, T5: Green Sol 70 y T8: Bambucina se agrupan en el conglomerado dos y el conglomerado tres está compuesto del tratamiento T4: Green Sol 48.

Como se observa en el Cuadro 4, en cuanto a la variable de desarrollo de la raíz se presentaron diferencias significativas ($p=0,0038$), y el conglomerado dos fue el

que obtuvo el valor más alto (3,19) mientras el conglomerado tres presentó el valor más bajo (2,55).

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas ($p=0,2551$) para la variable follaje, sin embargo, el valor más alto (3,06) pertenece al conglomerado dos mientras el conglomerado uno presenta el valor más bajo (2,53).

Tampoco se encontraron diferencias significativas ($p=0,6294$) para la variable de sanidad de follaje. El valor más alto (2,87) en esta variable se obtuvo en el conglomerado dos, no así para el conglomerado uno quien tuvo el valor más bajo (2,57).

No se encontraron diferencias significativas ($p=0,3960$) para la variable sanidad de la raíz. El valor más alto (3,68) se obtuvo en el conglomerado tres mientras el valor más bajo (3,19) se colocó en el conglomerado uno.

No se encontraron diferencias significativas ($p=0,1667$) para la variable del tamaño del esqueje. El conglomerado dos tiene el valor más alto (3,09), mientras el conglomerado uno presenta el valor más bajo (2,71).

Por otra parte, se les consultó a cuatro productores de raicilla sobre la experiencia que ha tenido en el uso de enraizadores en sus cultivos y tres de ellos indican que solo observaron que las plantas tratadas adelantaron el proceso de formación de raíces^{4,5,6} mientras otro productor señala que obtuvo raíces más gruesas y más cantidad de bifurcaciones⁷.

⁴Productor 1. 13 feb. 2019. Cultivo de raicilla (conversación telefónica). Guatuso, Costa Rica.

⁵Productor 2. 13 feb. 2019. Cultivo de raicilla (entrevista). Coopevega, Costa Rica.

⁶Productor 3. 13 feb. 2019. Cultivo de raicilla (entrevista). Coopevega, Costa Rica.

⁷Productor 4. 13 feb. 2019. Cultivo de raicilla (entrevista). Coopevega, Costa Rica.

4.4. Consideraciones Generales

De acuerdo con Salisbury y Ross (2000), cada hormona provoca respuestas en los diferentes órganos de las plantas y a su vez esas respuestas son dependientes de la especie, la parte concreta de la planta, el estado de desarrollo, la concentración de la fitohormona, la interacción entre las fitohormonas y los diferentes factores ambientales. Aunque en este caso se utilizó dos ecotipos para evaluar las respuestas, no se encontró efecto de ese factor en las respuestas de los reguladores de crecimiento, como se demuestra en el Anexo 17 y Anexo 18.

Por otra parte, la raicilla es considerada en el aspecto fisiológico como una especie esciófita, lo cual indica que esas plantas se pueden establecer y desarrollar con niveles bajos de iluminación, es decir, no son plantas resistentes a alta intensidad lumínica (Ocampo 2000 y Lamprecht 1990 citados por Ocampo 2007). El día del establecimiento de este ensayo, los esquejes fueron sembrados en las camas preparadas pero aún no se contaba con el sarán que protegería esas plantas de la radiación, según la experiencia del productor, debido a la exposición de la luz directa los esquejes en pocos días se defoliaron y dicho problema puede ser un factor influyente en el resultado de las variables estudiadas.

Otro factor que pudo influir es los resultados de ciertas variables es la presencia de altas concentraciones de manganeso en el suelo, ya que, según el productor las puntas de las raíces tienden a “quemarse” en presencia de altos niveles de este elemento. Sin embargo, Carvajal (2018) analizó suelos del sitio de estudio y no encontró niveles elevados de Mn disponible.

También, es importante enumerar las razones de las que depende la activación de las hormonas. Las hormonas que se presentan en concentraciones micro o submicromorales para que sean activas y específicas es indispensable que se den tres condiciones en el sistema de respuesta que se explican a continuación: en

primer lugar, debe existir la suficiente cantidad de hormonas en las células específicas, en segundo lugar, los grupos de células en los cuales la hormona va a generar una respuesta, tiene que reconocerla y ligarse a la misma y en tercer lugar, la proteína receptora tiene que generar cierto cambio metabólico que dirija a la amplificación de la señal hormonal (Salisbury y Ross 2000).

Una vez explicados todos los factores que pueden influir en las respuestas de las variables, se procede a analizar dichas variables a profundidad.

Respecto al porcentaje de sobrevivencia, la aplicación de reguladores de crecimiento influyó en la respuesta de esta variable, ya que, existe un grupo de tratamientos los cuales son Proroot, Green Sol 48, Green Sol 70 y Bambucina que presentaron diferencias estadísticas respecto al tratamiento Testigo. Por otro lado, se puede mencionar que el grupo de tratamiento de Radix 35, Rooting y Stimulate presentó respuestas estadísticamente iguales al Testigo, siendo los tratamientos con los valores más bajos, pero se evidencia que en el tratamiento Radix 35 fue donde más bajo porcentaje de sobrevivencia produjo. Uno de las razones que pueden explicar este comportamiento es que, la aplicación de este regulador de crecimiento a una concentración de 1500 ppm genera quema de los esquejes lo que induce a la mortalidad tal y como se mencionó anteriormente.

Por otro lado, es indispensable señalar la interacción que se notó en las variables de Peso Fresco Total, el Peso Seco de la Parte Aérea, en el Peso Seco de la Raíz, en la Longitud de la Raíz, en el porcentaje de Sobrevivencia y en el Volumen de raíces con los tratamientos de Proroot y Green Sol 70. En todas las anteriores variables, los valores más altos por si solos y otros que son los más altos incluso perteneciendo a un grupo de tratamientos donde no hubo diferencias significativas, son parte de estos tratamientos los cuales tienen la particularidad que presentan en su formulación los ingredientes que se señalan en los Anexos 17 y 18.

Los productos poseen reguladores de crecimiento distintos, en el caso de Proroot tienen dos tipos diferentes de auxinas mientras el Green Sol 70, solo tiene citocininas. Estos productos tienen en común los macroelementos nitrógeno y fósforo en las proporciones de 10-11 y 55 – 52% respectivamente, comúnmente ese fertilizante se le conoce con el nombre de fosfato monoamónico (MAP).

Los altos valores en las variables anteriormente mencionadas son provocados no solamente por la presencia de auxinas y citocininas en los tratamientos sino que también estos macroelementos cumplen funciones indispensables que dan una mejor respuesta en los esquejes en crecimiento y desarrollo. Respecto a las funciones del nitrógeno Navarro (2000) indica que este, también forman parte de las proteínas y otras moléculas de gran relevancia como las purinas y las pirimidinas, además el nitrógeno es constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos, primordiales para la fotosíntesis y respiración. Por otro lado, Yara s.f, expone que el fósforo en las plantas indispensable para el crecimiento de las mismas, además que este elemento participa tanto en producción como en el transporte de carbohidratos, grasas y proteínas, y cuando se aplica en abundantes cantidades se promueve el crecimiento rápido y el tamaño de las hojas de las plantas es mayor; otro aspecto de gran importancia para esta investigación es que el fósforo es particularmente relevante en el desarrollo radical y que en plántulas asegura el rápido crecimiento de la raíz y la buena captación de otros nutrientes y humedad.

5. CONCLUSIONES

1. Se encontró efecto significativo al 10% (p -valor= 0,0999) 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.
2. No se encontró efecto significativo de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Radix 35, Rooting y Stimulate sobre el porcentaje de sobrevivencia de esquejes terminales de raicilla.
3. No se encontró efecto significativo (p -valor= 0,2256) de la aplicación de promotores de rizogénesis comerciales sobre el número de hojas.
4. Se encontró efecto significativo (p -valor= 0,0105) de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Radix 35, Green Sol 70 y Rooting sobre el volumen de raíces de raicilla.
5. No se encontró efecto significativo de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Green Sol 48, Stimulate y Bambucina sobre el volumen de raíces de raicilla.
6. Se encontró efecto significativo (p -valor= 0,0277) de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Radix 35, Rooting, Stimulate y Bambucina sobre la longitud del esqueje de raicilla.
7. No se encontró efecto significativo de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Green Sol 48, Green Sol 70 sobre la longitud del esqueje de raicilla.
8. Se encontró efecto significativo (p -valor= 0,0039) de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot y Green Sol 70 sobre la longitud de raíz de raicilla.

9. No se encontró efecto significativo de la aplicación de los promotores de rizogénesis comerciales Radix 35, Green Sol 48, Rooting, Stimulate y Bambucina sobre la longitud de raíz de raicilla.
10. Se encontró efecto significativo (p -valor= 0,0001) 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.
11. No se encontró efecto significativo de los promotores de rizogénesis comerciales Green Sol 48 y Rooting sobre el peso seco de la parte aérea de raicilla.
12. Se encontró efecto significativo (p -valor= 0,0005) de los promotores de rizogénesis comerciales Proroot, Radix 35, Green Sol 70, Rooting y Bambucina sobre el peso seco de la raíz.
13. No se encontró efecto significativo de los promotores de rizogénesis comerciales Green Sol 48 y Stimulate sobre el peso seco de la raíz.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio similar a este que incluya como tratamientos reguladores de crecimiento (únicamente auxinas o citocininas o giberelinas, sin otros elementos adicionales) de forma individual y en mezclas, a diferentes concentraciones.
- Replicar esta investigación haciendo uso de los siete diferentes ecotipos de raicilla que se han descrito para saber cuál es el comportamiento en cada ecotipo, asegurándose que existan las condiciones de manejo apropiado para este cultivo.

7. LITERATURA CITADA

- Alves Lameira, O. 2002. Cultivo da Ipecacuanha (*Psychotria ipecacuanha* (Brot.) Stokes). Circular Técnica. 28: 1-4.
- Araya Salas, JA. 2012. Uso de un bioestimulante radicular en el cultivo de ipecacuana (*Psychotria ipecacuanha*). Tesis Bach. Ing. Agr. San Carlos, CR, UNED. 70 p.
- Araya Salas, JA. 2015. Rizogénesis directa en esquejes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) utilizando seis concentraciones de ácido indol - 3 – butírico. Tesis Ing Agr. San José, CR, UNED. 42 p.
- Arnáez Serrano, E; Moreira, I; Navarro Hoyos, M. 2016. Manejo agroecológico de nueve especies de plantas de uso medicinal tradicional cultivadas en Costa Rica. Ed. FLACSO. 84 p.
- Bhattacharya, S; Bhattacharya, NC; Malik, CP. 1978. Synergistic effect of gibberellic acid and indole-3-acetic acid on rooting in stem cuttings of *Abelmoschus esculentus* Moench. *Planta* 138(1):111-112.
- Castrillón, JC; Carvajal, E; Ligarreto, G; Magnitskly, S. 2008. El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de la estacas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) en diferentes sustratos (en línea). *Revista Agronomía Colombiana* 26(1):16-22. Consultado 7 agos. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v26n1/v26n1a03.pdf>
- Cruz Castillo JG; Elías Román, D; De los Santos Nen, A; Torres Lima, PA. 1999. Aplicaciones de CPPU (citocinina) incrementan el crecimiento del cafeto en vivero (en línea). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 59-62. Consultado 23 feb 2019. Disponible en

<https://chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php?file=completo&id=MTMzNw>

Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; Gonzalez L; Tablada M; Robledo CW. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Durango Ballesteros, E; Humanez Álvarez, A. 2017. Enraizamiento de esquejes de Caña Agria (*Cheilocostus speciosus*. J. Koenig) (en línea). Revista Colombiana de Biotecnología. 19(2):133-139. Consultado 31 de jul. 2019. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/776/77654661014.pdf>

FAGRO (Farmacia Agroquímica) s.f. Hoja técnica (en línea, póster). Coahuila, México. Consultado 22 feb 2019. Disponible en <http://dunemexicali.com.mx/archivos/AGROQUIMICOS/ESTIMULANTES/CONVENCIONALES/FAGRO/PROROOT/PROROOT%20HT.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). s.f. Memorias (en línea). Funciones de los elementos en la planta. 28 p. Consultado 22 feb. 2019. Disponible en http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/au/p/pdf/6a.pdf

Fichet, T. 2017. Biosíntesis de las Fitohormonas y Modo de Acción de los Reguladores de Crecimiento (en línea) Consultado 30 ago. 2017. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/biosintesis-de-las-fitohormonas-y-reguladores-de-crecimiento>

Flores Vindas, EM. 1999. La planta estructura y función Volumen II. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 899 p.

- Francescangeli, N; Zagabria, A. 2010. Citoquinina para modificar la arquitectura de planta de petunia (en línea). ITEA 106(1): 46-52. Consultado 23 feb 2019. Disponible en <http://www.aida-itea.org/index.php/revista-itea/contenidos?idArt=127&lang=esp>
- George EF; Hall MA; Klerk GJ. 2008. Plant Growth Regulators II: Cytokinins, their Analogues and Antagoinsnts. Plant propagation by tissue culture. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 21 p.
- INTRAGRI, 2016. Bioestimulación de la raíz (en línea, video). Ciudad de México, México. 8 min. 54 seg., son., color. Consultado 16 agos. 2019. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=o9TttD8U6TY>
- INTRAGRI. 2017. La función de los nutrientes esenciales (en línea, sitio web). Consultado 22 feb 2019. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/nutricion-vegetal-funcion-de-nutrientes-esenciales>
- Isogai, S; Touno K; Shimomura, K. 2008. Gibberellic acid improved shoot multiplication in *Cephaelis ipecacuana*. In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant. 44: 216.
- Jordan, M; Casaretto, J. 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas (en línea). Squeo, F.A y L. Cardemil (eds). Fisiología Vegetal. La Serena, Chile. Consultado 22 feb. 2019. Disponible en <http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf>
- Kopper Sandoval, JC. 2015. Determinación de la eficacia del ácido giberélico (PROGIBB 40 WG) sobre el rendimiento y la calidad de la caña de azúcar

(*Saccharum* spp.) var. NA 56-42 en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Lic. San Carlos, Costa Rica. ITCR. 88 p.

LAICA, Costa Rica. (en línea). Consultado 17 oct. 2017. Disponible en https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjKq8HZgPjWAhVCSSYKHV9AA_oQFggmMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.laica.co.cr%2Fbiblioteca%2Fservlet%2FDownloadServlet%3Fc%3D443%26s%3D1762%26d%3D23067&usg=AOvVaw3SGe7u-obkL-Y5vxQHAXm7

Mestanza Robles, EM. 2015. EFECTO DEL ÁCIDO NAFTALENACÉTICO Y ÁCIDO GIBERÉLICO EN EL ENRAIZAMIENTO IN VITRO DE *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (CHACPÁ), PARA SU ACLIMATACIÓN EN INVERNADERO. Tesis Bach. Huaraz, Perú, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 90 p.

Naranjo, EJ; Urrea, AI; Atehortúa, L. 2014. Avances en la propagación vía embriogénesis somática de *Psychotria ipecacuanha* (Brot.) Stokes, planta medicinal en peligro crítico (en línea). Revista Colombiana de Biotecnología. 16 (1): 86-92. Consultado 29 ago. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77631180009>

Navarro, G. 2000. Química Agrícola. España, Madrid. Mundi-Prensa Libros. 488 p.

Norato Rodríguez, J. 1992. Acción del Stimulate en el crecimiento y llenado de mazorcas en maíz (*Zea mays* L.). Agronomía Colombiana (9):115-118.

Ocampo Chinchilla, R; Alfaro Portuguez, R; Araya Vindas, A. 2015. Evaluación del efecto de 9 diferentes fuentes de fertilizantes nitrogenados sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Sccharum* spp) variedad LAICA 01-604

en un suelo Ultisol de la Región Norte de Costa Rica. Promedio de tres cosechas.

Ocampo, R. 2007. Ipecacuana. Un Producto no Maderable Cultivado Bajo el Bosque en Costa Rica. 1980-2000. (en línea) Consultado 30 agos. 2017. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v31n01_113.pdf

Ocampo, R; Balick, MJ. 2009. Plants of Semillas Sagradas: An Ethnomedicinal Garden in Costa Rica (en línea). Costa Rica.109 p. Consultado 30 agos. 2017. Disponible en <http://fincalunanuevalodge.com/wp-content/uploads/2016/11/semillas-sagradas.pdf>

Ortega Martínez, LD; Ocampo Mendoza, J; Martínez Valenzuela, C; Pérez Serrano, A; Sanchez Olarte, J. 2013. Efecto de las giberelinas sobre el crecimiento y calidad de plántulas de tomate (en línea). Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud 15(3):56-60. Consultado 3 de ago. 2019. Disponible en <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/viewFile/159/151>

Palma, T; Gadea, A; Chaves, A. 2000. El cultivo de la raicilla. *Psychotria ipecacuanha*.

Pedroza Manrique, JA. 2009. Efecto del carbón activado, ácido indolacético (AIA) y bencil amino purina (BAP) en el desarrollo de protocormos de *Epidendrum elongatum* Jacq bajo condiciones in vitro. Revista Colombiana de Biotecnología. 11 (1): 17-32.

Pedroza Manrique, JA; Montes Villegas, MV. 2008. Micropropagación de *Hypericum goyanesii*, una especie en vía de extinción. Centro de investigaciones y desarrollo científico (en línea). Consultado 14 de oct.

2017. Disponible en <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/300/430>

PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica). 2019. Portal estadístico. (en línea) Consultado 30 agos. 2017. Disponible en <http://sistemas.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>

Rodríguez Beraud, MM; Latsague Vidal, MI; Chacón Fuentes, MA; Astorga Brevis, PK. 2014. Inducción in vitro de callogénesis y organogénesis indirecta a partir de explantes de cotiledón, hipocótilo y hoja en *Ugni molinae*. (en línea). *Bosque (Valdivia)* 35(1): 111-118. Consultado 14 de oct. 2017. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002014000100011&script=sci_arttext&tIng=en

Rodríguez Piedra, A. 2005. Organogénesis in vitro de la raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) con sustitución de insumos. Tesis Lic. Alajuela, Costa Rica, TEC. 62 p.

Ruiz Solsol, H; Mesén, F. 2010. Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Agronomía Costarricense* 34(2):259-267.

Salisbury, FB; Ross CW. 2000. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México, 759 p.

Solís Araya, JL. 1994. Efecto de diferentes dosis de auxinas en el enraizamiento de brotes terminales de raicilla (*Psychotria ipecacuanha*), Santa Clara, San Carlos. Tesis Lic. Alajuela, Costa Rica, TEC. 98 p.

Soto, LE; Jasso Mata, J; Vargas Hernández, JJ; González Rojas, H; Cetina Alcalá, VM. 2006. 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 2(3): 795-814.

Steller Jiménez, ED. 2018. 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. San Carlos, Costa Rica. ITCR. 68 p.

Thomas, DS. 2009. Survival and growth of drought hardened *Eucalytus pilularis* Sm. Seedling and vegetative cuttings (en línea). New Forest. 38: 245-259. Consultado 6 jun 2019. Disponible en DOI: 10.1007/s11056-009-9144-9

Trueman, SJ. 2018. Cytokinin and auxin effects on survival and rooting of *Eucalyptus pellita* and *E. grandis* x *E. pellita* cuttings. Rhizosphere 6(2018): 74-76

Trueman, SJ; Adkins, MF. 2013. Effect of aminoethoxyvinylglycine and 1-methylcyclopropene on leaf abscission and root formation in *Corymbia* and *Eucalyptus* cuttings. Scientia Horticulturae. 161: 1-7. Consultado 23 feb 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423813003476>

Ulate Sánchez, MF. s.f. Efecto de diferentes enraizadores comerciales sobre el desarrollo radical de la planta de arroz, Región Huetar Norte de Costa Rica (en línea). CONARROZ. Consultado 23 feb 2019. Disponible en http://www.conarroz.com/UserFiles/File/Efecto_diferentes_enraizadores_comerciales.pdf

Venkatachalam, P; Jayabalan, N. 1997. Effect of auxins and cytokinins on efficient plant regeneration and multiple-shoot formation from cotyledons and cotyledonary-node explants of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) by in

vitro culture technology. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 67(3): 237-247.

Vidales Fernández, I. 2002. Efecto de los reguladores de crecimiento en los procesos de organogénesis y embriogénesis somática de aguacate (*Persea amaericana* Mill.). Tesis Dr. Tecomán, México. Universidad de Colima. 170 p.

Yara. S.F. Manual básico de nutrición vegetal y suelos. Oslo, Norway. 98 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Resultado estadístico para las variables número de hojas, longitud de raíz, longitud de esqueje, sobrevivencia y volumen de raicilla, según el tratamiento.

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

*Para cada variable, medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba DGC.

*LR= Longitud raíz. LE= Longitud esqueje

Anexo 2. Resultado estadístico para las variables, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz de raicilla, según el tratamiento.

Tratamiento	Variables estudiadas	
	PSA (gr)	PSR (gr)
Testigo	0,42 ± 0,04 b	0,03 ± 0,01 b
Proroot	0,65 ± 0,03 a	0,05 ± 0,00 a
Radix 35	0,65 ± 0,14 a	0,05 ± 0,00 a
Green Sol 48	0,47 ± 0,08 b	0,03 ± 0,01 b
Green Sol 70	0,64 ± 0,05 a	0,06 ± 0,01 a
Rooting	0,39 ± 0,02 b	0,04 ± 0,01 a
Stimulate	0,60 ± 0,03 a	0,03 ± 0,00 b
Bambucina	0,56 ± 0,02 a	0,05 ± 0,01 a
p -valor	0,0001	0,0005

*Para cada variable, medias con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) según la prueba DGC.

*PSA= Peso Seco Aérea. PSR= Peso Seco Raíz.

Anexo 3. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable porcentaje de sobrevivencia de raicilla.

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.000_Sobrev_REML`

Variable dependiente: *Sobrev*

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
32	232,44	252,47	-99,22	21,19	0,34	0,39		

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	21	1276,80	<0,0001
Tratamiento	7	21	2,02	0,0999

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	7	21	2,02	0,0999

Sobrev - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
8	79,43	5,88	A
4	75,00	2,53	A
2	73,90	3,54	A
5	73,33	7,76	A
1	65,00	10,68	B
7	62,78	5,39	B
6	62,23	7,36	B
3	49,43	10,24	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 4. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable número de hojas de raicilla.

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Hojas_REML<-lme(Hojas~1+Tratamiento
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_Hojas_REML

Variable dependiente: Hojas

Medidas de ajuste del modelo	on	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
32	165,22	185,25	-65,61	5,8E-06	0,17	0,30			

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	21	67,51	<0,0001
Tratamiento	7	21	1,49	0,2256

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	7	21	1,49	0,2256

Anexo 5. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable volumen de raíces de raicilla.

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.010_VoluRa.planta_REML<-lme(VoluRa.planta~1+Tratamiento
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.010_VoluRa.planta_REML

Variable dependiente: VoluRa/planta

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
32	-9,31	10,71	21,66	0,10	0,24	0,60		

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	21	26,53	<0,0001
Tratamiento	7	21	3,60	0,0105

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	7	21	3,60	0,0105

VoluRa.planta - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
3	0,27	0,07	A
5	0,22	0,06	A
2	0,21	0,04	A
6	0,18	0,06	A
8	0,15	0,05	B
1	0,13	0,06	B
7	0,13	0,05	B
4	0,10	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 6. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable longitud del esqueje de raicilla.

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.003_Long.Tallo_REML<-lme(Long.Tallo~1+Tratamiento
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,method=\"REML\"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.003_Long.Tallo_REML

Variable dependiente: Long Tallo

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
32	77,85	97,88	-21,93	0,49	0,30	0,30

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	21	2706,92	<0,0001
Tratamiento	7	21	2,90	0,0277

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	7	21	2,90	0,0277

Long.Tallo - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
7	4,45	0,18	A
6	4,22	0,19	A
2	4,15	0,21	A
8	4,15	0,32	A
3	4,04	0,50	A
5	3,63	0,25	B
4	3,62	0,15	B
1	3,54	0,24	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 7. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable longitud de la raíz de raicilla.

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002_Long.raiz_REML<-lme(Long.raiz~1+Tratamiento
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,method=\"REML\"
,control=lmeControl(niterEM=150
```

```
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.002_Long.raiz_REML

Variable dependiente: Long raiz

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
32	92,01	112,03	-29,00	0,37	0,15	0,50

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	21	208,31	<0,0001
Tratamiento	7	21	4,38	0,0039

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	7	21	4,38	0,0039

Long.raiz - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
2	4,70	0,40	A
5	4,68	0,32	A
8	4,28	0,38	B
1	4,14	0,37	B
3	4,11	0,44	B
4	3,86	0,53	B
7	3,67	0,46	B
6	3,57	1,00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 8. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable peso seco de la parte aérea de raicilla.

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.006_Peso.Se.PA_REML<-lme(Peso.Se.PA~1+Tratamiento
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,method="REML")
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00)
```

```
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.006_Peso.Se.PA_REML

Variable dependiente: *Peso Se PA*

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1
30	-1,89	16,66	17,94	0,06	0,43	0,43		

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	19	2094,12	<0,0001
Tratamiento	7	19	10,37	<0,0001

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	7	19	10,37	<0,0001

Peso.Se.PA - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
2	0,65	0,03	A
3	0,65	0,14	A
5	0,64	0,05	A
7	0,60	0,03	A
8	0,56	0,02	A
4	0,47	0,08	B
1	0,42	0,04	B
6	0,39	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 9. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable peso seco de la raíz de raicilla.

Resultados para el modelo: mlm.modelo.031_Peso.Se.Ra_REML

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.009_Peso.Se.Ra_REML<-lme(Peso.Se.Ra~1+Tratamiento
,random=list(Bloque=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Tratamiento))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.009_Peso.Se.Ra_REML

Variable dependiente: Peso Se Ra

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
31	-90,78	-71,48	62,39	0,03	0,34	0,34

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	20	836,85	<0,0001
Tratamiento	7	20	6,32	0,0005

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Tratamiento	7	20	6,32	0,0005

Peso.Se.Ra - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento	Medias	E.E.	
5	0,06	0,01	A
2	0,05	2,5E-03	A
8	0,05	0,01	A
3	0,05	3,3E-03	A
6	0,04	0,01	A
1	0,03	0,01	B
4	0,03	0,01	B
7	0,03	4,0E-03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 10. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable sanidad de raíz de raicilla.

Resultados para el modelo: mlm.modelo.053_San.raiz_REML

Variable dependiente: San raiz

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
32	74,40	82,60	-31,20	1,06	0,07

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1426,99	<0,0001
Conglomerado	2	0,96	0,3960

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Conglomerado	2	29	0,96	0,3960

San.raiz - Medias ajustadas y errores estándares para Conglomerado

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Conglomerado	Medias	E.E.	
3	3,68	0,17	A
2	3,58	0,12	A
1	3,19	0,31	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 11. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable sanidad de follaje de raicilla.

Resultados para el modelo: mlm.modelo.054_San.Follaje_REML

Variable dependiente: San Follaje

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
32	85,70	93,90	-36,85	0,87	0,03	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	429,93	<0,0001
Conglomerado	2	0,47	0,6294

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Conglomerado	2	29	0,47	0,6294

San.Follaje - Medias ajustadas y errores estándares para Conglomerado

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Conglomerado	Medias	E.E.	
2	2,87	0,18	A
3	2,78	0,31	A
1	2,57	0,25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 12. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable tamaño del esqueje de raicilla.

Resultados para el modelo: mlm.modelo.055_Tam.esq_REML

Variable dependiente: Tam esq

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
32	52,20	60,41	-20,10	0,61	0,14	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	2168,48	<0,0001
Conglomerado	2	1,91	0,1667

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Conglomerado	2	29	1,91	0,1667

Tam.esq - Medias ajustadas y errores estándares para Conglomerado

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Conglomerado	Medias	E.E.	
2	3,09	0,10	A
3	2,95	0,10	A
1	2,71	0,18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 13. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable desarrollo de la raíz de raicilla.

Resultados para el modelo: mlm.modelo.056_Des.Raiz_REML

Variable dependiente: Des Raiz

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
32	66,60	74,80	-27,30	0,76	0,25	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1032,32	<0,0001
Conglomerado	2	6,81	0,0038

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Conglomerado	2	29	6,81	0,0038

Des.Raiz - Medias ajustadas y errores estándares para Conglomerado

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Conglomerado	Medias	E.E.	
2	3,19	0,12	A
1	2,55	0,22	B
3	2,50	0,18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 14. Análisis de Modelos Lineales Mixtos y Generales (MLMix) para la variable follaje de raicilla.

Resultados para el modelo: mlm.modelo.057_Follaje_REML

Variable dependiente: Follaje

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
32	87,36	95,56	-37,68	0,90	0,09	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	431,51	<0,0001
Conglomerado	2	1,43	0,2551

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Conglomerado	2	29	1,43	0,2551

Follaje - Medias ajustadas y errores estándares para Conglomerado

DGC (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Conglomerado	Medias	E.E.	
2	3,06	0,18	A
3	2,75	0,43	B
1	2,53	0,26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 15. Composición del tratamiento Proroot (T2) en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Composición Proroot (T2)	
Ingrediente	Valor
Nitrógeno total (N)	11%
Fósforo aprovechable (P ₂ O ₅)	55%
Ácido Naftalanacético (ANA)	2800 ppm
Ácido Indolbutirico (AIB)	200 ppm
Ácidos fulvicos	2%
Acondicionadores e inertes	31.70%
Total	100%

Anexo 16. Composición del tratamiento Green Sol 70 (T5) en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Composición Green Sol 70 (T5)	
Ingrediente	Valor
Nitrógeno (N)	10%
Fósforo (P ₂ O ₅)	52%
Potasio	8%
Boro (B)	0.02%
Zinc (Zn)	0.05%
Cobre (Cu)	0.05%
Molibdeno (Mo)	0.0005%
Manganeso (Mn)	0.05%
Hierro (Fe)	0.100%
Citoquininas	0.0175%
Agentes Quelatante e Inertes	29.712%
Total	100%

Anexo 17. Promedio y desviación estándar por ecotipo de las variables de crecimiento en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Ecotipo	Sobrevivencia (%)	Hojas (Nº)	Longitud de raíz (cm)	Longitud de tallo (cm)	Volumen de raíces (cm ³)
Hoja Fina	62,8 ± 12,7	7,7 ± 2,9	4,6 ± 1,1	4,0 ± 0,7	0,2 ± 0,1
Canasta	72,5 ± 17,3	10,6 ± 3,6	3,6 ± 0,7	4,0 ± 0,5	0,2 ± 0,1

Anexo 18. Promedio y desviación estándar por ecotipo de las variables de crecimiento en estudio de promotores de rizogénesis comerciales en raicilla (*Psychotria ipecacuanha*) en Moravia, Cutris, San Carlos, 2019.

Ecotipo	Peso Seco Parte Aérea (gr)	Peso Seco Raíz (gr)
Hoja Fina	0,6 ± 0,2	0,05 ± 0,02
Canasta	0,5 ± 0,1	0,04 ± 0,02