

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA DE AGRONOMÍA TROPICAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN**



Evaluación del efecto de enraizadores sobre portainjerto de *Hevea brasiliensis*, “hule”, en clon IAN 873, Finca Santa Ana Mixpillá, San Miguel Panán, Suchitepéquez.

David Alejandro Aquilá Rafael

Carné: 201340615

Asesor:

Ing. Agr. Nicolás Barrios León

MAZATENANGO SUCHITEPÉQUEZ, AGOSTO 2022.



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Suroccidente**

M. A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario del Suroccidente

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en funciones

Representante de profesores

Msc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

Representante Graduado del CUNSUROC

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles

Vocal

Representantes Estudiantiles

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM Y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal



COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Dr. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Edin Anibal Ortiz Lara

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

M.Sc. José Norberto Thomas Villatoro

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera Ingeniería en Agronomía Tropical

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril

Coordinador Carrera Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogado y Notario

Lic. Sergio Román Espinoza Antón

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

M.Sc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinador de Área

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Carreras Plan Fin de Semana del CUNSUROC

Coordinador de las carreras de Pedagogía

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos

Coordinador Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la

Comunicación

M.Sc. Juan Pablo Ángeles Lam



Mazatenango, 18 de Septiembre de 2021.

Honorable Consejo Directivo
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Distinguidos integrantes del Consejo Directivo:

De conformidad a las normas establecidas del Centro Universitario de Sur Occidente y de la carrera de Agronomía Tropical, someto a su consideración el presente trabajo de graduación titulado: **Evaluación del efecto de enraizadores sobre portainjerto de *Hevea brasiliensis*, "Hule", en clon IAN 873, Finca Santa Ana Mixpillá, San Miguel Panán, Suchitepéquez.** Investigación presentada previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de licenciado, sin nada más que agregar, me suscribo de ustedes.

Atentamente.

David Alejandro Aquilá Rafael.

Carné: 201340615

ACTO QUE DEDICO

A MIS PADRES:

Edgar Aquilá Ixtacuy y Olga Marina Rafael Lopreto, porque ustedes fueron quienes más me apoyaron durante todo mi recorrido estudiantil, al igual que mío este logro también es de ustedes, esto es lo menos que puedo dedicarles por todo su esfuerzo y sacrificio para conmigo.

A MIS ABUELOS:

Julio Aquilá y Amalia Ixtacuy (QEPD) porque ambos también contribuyeron en el apoyo que siempre se me brindó, por ende, este triunfo es vuestro, se los dedico con mucho cariño y afecto.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES:

Por todo el apoyo moral y económico que me han brindado tanto en mi vida personal como en mi formación académica.

Agradezco mucho a mi padre por todo el sacrificio que ha realizado en su profesión laboral para que a mí y a mis hermanos no nos falte lo necesario, aprecio mucho cada una de las atenciones y detalles que tuvo mi madre, puesto que directa e indirectamente ella siempre ha pensado en mi bienestar.

A MIS ABUELOS:

Gratifico cariñosamente el apoyo de mis abuelos paternos, quienes de una u otra manera siempre hicieron lo que estuvo a su alcance para apoyarme, pese a sus propias dificultades nunca se negaron para ofrecerme de su ayuda.

A FINCA SANTA ANA MIXPILLÁ DE LA GREMIAL DE HULEROS DE GUATEMALA:

Manifiesto mi gratitud al Ingeniero Carlos Nájera actual gerente de la Gremial de Huleros de Guatemala en la Región de la Costa Sur, por abrirle las puertas al Centro Universitario de Sur Occidente, al permitir que el estudiantado pueda ejercer el conocimiento adquirido, así como aprender de la institución.

Al Ingeniero José Alberto Mota quien fue el administrador de la finca durante la realización de mi EPS, agradezco mucho el apoyo, la confianza y la consideración que me tuvo en todo momento para la realización de cada una de las actividades que desempeñe en la finca, así como en la redacción de los documentos.

Expreso afectuosamente mi agradecimiento a todo el resto del personal de la finca; a Jacobo el caporal de pica, los picadores, a los del centro de acopio de látex, a los injertadores y demás trabajadores voluntarios quienes compartieron de su conocimiento y experiencia para enriquecer mi aprendizaje respecto al cultivo de hule.

INDICE GENERAL

Página

Summary	xiii
Resumen	xiv
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEORICO	2
1. Marco conceptual	2
1.1. Cultivo de <i>Hevea brasiliensis</i>	2
1.2. Sistema radicular del <i>Hevea brasiliensis</i>	3
1.3. Clon de <i>H. brasiliensis</i> (IAN 873)	4
1.4. Tocón de <i>Hevea brasiliensis</i>	5
1.5. Enraizadores y/o hormonas de enraizamiento	5
1.6. Maxiboost.....	8
1.7. Raizal 400	9
1.8. IBA 98 SP.....	10
1.9. Canela (<i>Cinnamomun zeylanicum</i>)	11
1.9.1. Clasificación taxonómica	11
1.9.2. Composición química de la canela (<i>C. zeylanicum</i>)	11
1.10. Factores influyentes en la propagación de plantas por estacas.....	14
1.10.1. Edad de la planta madre.....	14
1.10.2. Edad del esqueje	14
1.10.3. Efecto de la luz	14
1.10.4. Efecto de la temperatura ambiental.....	15
1.10.5. Humedad relativa	16
1.10.6. Medio de enraizamiento (sustrato)	17
1.10.7. Tratamiento de esquejes con reguladores de crecimiento	19
2. Marco referencial	21
2.1. Localización geográfica de finca Mixpillá	21
2.2. Croquis de finca Mixpillá y ubicación del área de investigación	22
2.3. Descripción ecológica de finca Mixpillá	22
2.3.1. Zona de vida y clima.....	22
2.3.2. Suelo	25

2.4.	Antecedentes de los productos evaluados.....	26
2.4.1.	Algas marinas (<i>Ascophyllum nodosum</i>).....	26
2.4.2.	Raizal 400.....	26
2.4.3.	IBA 98 SP	28
2.4.4.	Canela (<i>Cinnamomun zeylanicum</i>).....	29
III.	OBJETIVOS	32
1.	General.....	32
2.	Específicos	32
IV.	HIPOTESIS.....	33
V.	METODOLOGIA.....	34
1.	Materiales	34
2.	Descripción de los tratamientos.....	35
3.	Diseño experimental	35
4.	Unidad experimental.....	37
5.	Establecimiento del experimento	37
5.1.	Obtención de sustrato	37
5.2.	Llenado de bolsas	38
5.3.	Ordenamiento de bolsas	38
5.4.	Arrancado de portainjerto (patrón) en el almácigo de suelo.....	39
5.5.	Lectura de datos iniciales (variables de respuesta)	41
5.5.1.	Aumento de diámetro de tocón.....	41
5.5.2.	Crecimiento radicular.....	41
5.5.3.	Aumento de volumen radicular	41
5.5.4.	Biomasa radicular	42
5.6.	Siembra de tocones	42
5.7.	Manejo de experimento.....	43
5.7.1.	Riego	43
5.7.2.	Control de maleza	43
5.7.3.	Meteorología en el tiempo de estudio.....	43
6.	Preparación y aplicación de tratamientos	43
6.1.	Canela en polvo (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>).....	43
6.2.	Maxiboost.....	45

6.3. Raizal 400	46
6.4. IBA 98 SP.....	48
6.5. Testigo absoluto (sin enraizador)	50
6.6. Intervalo de aplicaciones.....	50
7. Lectura de datos finales (variables respuesta)	51
7.1. Aumento de diámetro de tocón	51
7.2. Crecimiento radicular	51
7.3. Aumento de volumen radicular.....	52
7.4. Biomasa radicular	53
8. Análisis de varianza (ANDEVA).....	55
9. Prueba múltiple de medias Tukey.....	56
10. Costo de aplicación por tratamiento	57
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
1. Aumento de diámetro de tocón (milímetros).....	59
2. Longitud radicular (centímetros)	66
3. Aumento de volumen radicular (centímetros cúbicos)	73
4. Biomasa radicular (gramos).....	82
5. Costos de aplicación por tarea de cada tratamiento	84
VII. CONCLUSIONES	87
VIII. RECOMENDACIONES.....	88
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
X. ANEXOS.....	92

INDICE DE FIGURAS

No.	Figura	Página
1.	Tocón de hule.....	5
2.	Ubicación de Finca Santa Ana Mixpillá.....	21
3.	Croquis de Finca Santa Ana Mixpillá.....	22
4.	Precipitación pluvial mensual (mm) de enero a septiembre de 2019 en Finca Santa Ana Mixpillá.....	23
5.	Promedio de temperatura matutina y vespertina mensual (°C) de enero a septiembre de 2019 en Finca Santa Ana Mixpillá.....	24
6.	Promedio de humedad matutina y vespertina mensual (% HR) de enero a septiembre de 2019 en Finca Santa Ana Mixpillá.....	24
7.	Unidad experimental en almácigo.....	37
8.	Croquis de campo y aleatorización de los tratamientos.....	39
9.	Segmento de raíz en los tocones.....	40
10.	Volumen inicial de agua en la probeta/medición del volumen inicial de la raíz de los tocones.....	41
11.	Siembra de tocones a bolsas de polietileno.....	42
12.	Preparación y aplicación de canela.....	44
13.	Preparación y aplicación de maxiboost.....	46
14.	Preparación y aplicación de raizal 400.....	47
15.	Preparación de IBA 98 SP.....	48
16.	Aplicación de IBA 98 SP.....	49
17.	Medición de diámetro en los tocones.....	51
18.	Medición de longitud de raíces en los tocones.....	52
19.	Medición de volumen radicular en los tocones.....	53
20.	Raíces secadas al horno.....	53
21.	Aumento de diámetro (mm) de tocones después de la primera (DPA) y después de la tercera aplicación (DTA).....	64
22.	Longitud radicular (cm) de tocones después de la primera (DPA) y después de la segunda aplicación (DSA).....	68
23.	Longitud radicular (cm) de tocones después de la segunda (DSA) y después de la tercera aplicación (DTA).....	71
24.	Volumen radicular (cm ³) de tocones después de la primera (DPA) y después de la segunda aplicación (DSA).....	75
25.	Volumen radicular (cm ³) de tocones después de la segunda (DSA) y después de la tercera aplicación (DTA).....	77
26.	Ficha técnica del producto Maxiboost.....	92
27.	Activos de <i>Ascophyllum nodosum</i> presentes en el producto Maxiboost.....	93
28.	Resultados de análisis bromatológico de canela utilizada.....	94
29.	Secado de raíces al sol durante 20 minutos.....	95
30.	Horno de convección de Finca Santa Ana Mixpillá.....	95
31.	Medición de longitud radicular de los tratamientos con canela.....	96

32.	Medición de longitud radicular de los tratamientos con maxiboost.....	97
33.	Medición de longitud radicular de los tratamientos con raizal.....	98
34.	Medición de longitud radicular de los tratamientos con IBA 98 SP.....	99
35.	Medición de longitud radicular de los tratamientos testigo.	100
36.	Sistema radicular de tocones tratados con canela.	101
37.	Sistema radicular de tocones tratados con maxiboost.	102
38.	Sistema radicular de tocones tratados con raizal.	103
39.	Sistema radicular de tocones tratados con IBA 98 SP.	104
40.	Sistema radicular de tratamientos testigo.....	105

INDICE DE CUADROS

No.	Cuadro	Página
1.	Contenido nutricional de Maxiboost (% p/v).	8
2.	Contenido nutricional de raizal (% p/p).	10
3.	Composición química proximal de 100 gramos de canela molida.	13
4.	Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento a los 50 días después de haber instalado.	29
5.	Prueba de Duncan.	30
6.	Cantidad de material experimental utilizado.	34
7.	Cantidad de material, equipo y herramienta utilizada.	34
8.	Tratamientos aplicados en clon portainjerto IAN 873.	35
9.	Días de aplicación de productos enraizadores.	50
10.	Tabla resumen para la representación de datos de las variables de respuesta en un diseño bloques completos al azar.	55
11.	Resumen de datos del aumento de diámetro de tocón (mm) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.	59
12.	Análisis de varianza para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de una aplicación.	59
13.	Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de diámetro (mm) en los tratamientos de una aplicación.	60
14.	Resumen de datos del aumento de diámetro de tocón (mm) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.	60
15.	Análisis de varianza para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de dos aplicaciones.	60
16.	Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de diámetro (mm) en los tratamientos de dos aplicaciones.	61
17.	Resumen de datos de aumento de diámetro de tocón (mm) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.	62
18.	Análisis de varianza para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de tres aplicaciones.	62
19.	Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de diámetro (mm) en los tratamientos de tres aplicaciones.	63
20.	Resumen de datos de la longitud de raíces en centímetros (cm) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.	66
21.	Análisis de varianza para la longitud de raíces en los tratamientos de una aplicación.	66
22.	Resultados de la prueba de Tukey para la variable longitud de raíces (cm) en los tratamientos de una aplicación.	67
23.	Resumen de datos de la longitud de raíces en centímetros (cm) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.	67

24. Análisis de varianza para la variable longitud de raíces en los tratamientos de dos aplicaciones.	67
25. Resultados de la prueba de Tukey para la variable longitud de raíces (cm) en los tratamientos de dos aplicaciones.	68
26. Resumen de datos de la longitud de raíces en centímetros (cm) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.	69
27. Análisis de varianza para la longitud de raíces en los tratamientos de tres aplicaciones.	70
28. Resultados de la prueba de Tukey para la variable longitud de raíces (cm) en los tratamientos de tres aplicaciones.	70
29. Resumen de datos del aumento de volumen de raíces (cm ³) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.	73
30. Análisis de varianza para la variable aumento de volumen de raíces en los tratamientos de una aplicación.	73
31. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de volumen radicular (cm ³) en tratamientos de una aplicación.	74
32. Resumen de datos del aumento de volumen de raíces (cm ³) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.	74
33. Análisis de varianza para la variable aumento de volumen de raíces en los tratamientos de dos aplicaciones.	74
34. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de volumen radicular (cm ³) en tratamientos de dos aplicaciones.	75
35. Resumen de datos del aumento de volumen de raíces (cm ³) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.	76
36. Análisis de varianza para el aumento de volumen de raíces en los tratamientos de tres aplicaciones.	76
37. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de volumen de raíces (cm ³) en tratamientos de tres aplicaciones.	77
38. Resumen de datos de la biomasa radicular en gramos (gr) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.	82
39. Resumen de datos de la biomasa radicular en gramos (gr) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.	82
40. Resumen de datos de la biomasa radicular en gramos (gr) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.	82
41. Análisis de varianza para la variable biomasa radicular en los tratamientos de una, dos y tres aplicaciones.	83
42. Cantidad y costo de los insumos adquiridos.	84
43. Costo total de insumos por tratamiento.	84
44. Costo de insumo y mano de obra para la aplicación de una tarea de cada tratamiento.	85

Evaluation of the effect of rooters on rootstock of *Hevea brasiliensis*, "rubber", in clone IAN 873, Finca Santa Ana Mixpillá.

Summary

The present research consisted of the evaluation of the effect of rooters for the improvement of the root system of the rootstock of the cultivation of *H. brasiliensis*, clone IAN 873, such research was carried out in the almacigo of Santa Ana Mixpillá farm, in jurisdiction of the municipality of San Miguel Panán of the department of Suchitepéquez, Guatemala., starting on July 1, 2019 and culminating on September 30 of the same year.

Within the management of nursery plants of Finca Mixipillá, the system of stumps produced and grafted into the ground and then transferred to polyethylene bags is contemplated. A disadvantage of this system is the high probability of mortality of plants in the final field, being from 30 to 50%, such a problem caused the present investigation, since at the time on the farm there were complaints from customers who bought seedlings who claimed to have had population losses possibly due to the deficient root system of the plants.

Due to what happened, it was decided to investigate the subject, proposing an experiment that evaluated applied quantities of rooters, using those offered in the market plus an organic, all compared to an absolute witness. In total, a set of 15 treatments with 5 repetitions was proposed, which meant an experiment in random complete blocks of 75 experimental units.

The response variables evaluated were; stump diameter, root length, increased root volume and root biomass. According to the analysis of variance at 5% significance, it was determined that if there are statistically significant differences between the treatments of the three application quantities for all the response variables with the exception of the last variable mentioned.

Evaluación del efecto de enraizadores sobre portainjerto de *Hevea brasiliensis*, “hule”, en clon IAN 873, Finca Santa Ana Mixpillá.

Resumen

La presente investigación consistió en la evaluación del efecto de enraizadores para la mejora del sistema radicular del portainjerto del cultivo de *H. brasiliensis*, clon IAN 873. Tal investigación se realizó en el almácigo de finca Santa Ana Mixpillá, en jurisdicción del municipio de San Miguel Panán, del departamento de Suchitepéquez, Guatemala., iniciando el 1 de julio del año 2019 y culminando el 30 de septiembre del mismo año.

Dentro del manejo de plantas de vivero de Finca Mixipillá se tiene contemplado el sistema de tocones producidos e injertados en suelo y luego trasladados a bolsas de polietileno. Una desventaja de este sistema es la alta probabilidad de mortandad de plantas en campo definitivo, siendo de 30 a 50%, tal problemática ocasionó efectuar la presente investigación, puesto que en su momento en la finca hubo quejas por parte de clientes compradores de almácigo quienes afirmaron haber tenido pérdidas poblacionales posiblemente por el deficiente sistema radicular de las plantas.

Debido a lo ocurrido, se decidió investigar el tema, planteando un experimento que evaluara cantidades aplicadas de enraizadores, empleando los que se ofrecen en el mercado más un orgánico, todos comparados con un testigo absoluto. En total se planteó un conjunto de 15 tratamientos con 5 repeticiones, lo cual significó un experimento en bloques completos al azar de 75 unidades experimentales.

Las variables respuesta evaluadas fueron; diámetro de tocón, longitud radicular, aumento de volumen radicular y biomasa radicular. De acuerdo al análisis de varianza al 5% de significancia se determinó que sí existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de las tres cantidades de aplicación para todas las variables de respuesta con excepción de la variable biomasa de raíces.

I. INTRODUCCION

En Finca Santa Ana Mixpillá, durante sus años de producción y comercialización de almácigos de *H. brasiliensis*, han empleado el sistema de producción de tocones en suelo; la desventaja de tal sistema es que en las plantas existe deficiencia en el desarrollo radicular provocando inconvenientes después de la siembra a campo definitivo.

Los clientes de almácigo han reportado la mortandad de plantas (hasta un 30%) poco después de sembradas en campo, en razón de presentar deficiencia radicular, lo cual no permite a las plantas adaptarse al medio en el que se pretenden establecer. Con el propósito de mitigar la problemática descrita se decidió investigar el empleo de distintos enraizadores (canela, raizal 400, maxiboost, IBA 98) sobre el clon portainjerto que utiliza finca Mixpillá, siendo este el IAN 873.

En síntesis, el objetivo esencial de la investigación fue evaluar el efecto de los enraizadores sobre el sistema radicular del clon IAN 873, por ello, en el almácigo de la finca se estableció un diseño experimental bloques completos al azar, evaluando el efecto de los enraizadores en tres cantidades de aplicación, es decir, que hubo tratamientos en los que se realizó una sola vez la aplicación de los productos, pero por otro lado, también hubo tratamientos en los que se aplicó enraizadores , dos y tres veces.

En total se tuvieron 15 tratamientos por cada uno de los cinco bloques establecidos, resultando tener 75 unidades experimentales compuestas de seis tocones cada una. Para determinar la existencia o no de diferencias significativas entre tratamientos se realizó el respectivo análisis de varianza al 5%; y para determinar cuál fue el mejor tratamiento se efectuó la prueba de medias de Tukey al 5%; por último, se efectuaron los cálculos económicos respectivos para cada tratamiento.

Al culminar la investigación se concluyó que: a excepción de la variable biomasa radicular, existieron diferencias significativas entre tratamientos para las variables aumento de diámetro, longitud de raíces y aumento de volumen radicular; en esta última variable fue el tratamiento de tres aplicaciones de IBA 98 (T12) el que ejerció el mejor efecto sobre el sistema radicular de los tocones, con 17 cm³ de volumen en promedio.

II. MARCO TEORICO

1. Marco conceptual

1.1. Cultivo de *Hevea brasiliensis*

El árbol de *H. brasiliensis* es originario de la región amazónica de Brasil, siendo una planta Angiosperma dicotiledónea, poseen un tamaño mediano de 10 a 20 m de altura con ramas robustas lisas que contiene látex, las hojas están formadas de tres folíolos, mientras que las flores son blancas y pequeñas, y el fruto es una cápsula grande de color verde que contiene tres semillas. (GREMHULE, 2010).

El látex del árbol de *H. brasiliensis* es un producto estratégico, considerado una alternativa detonante para el desarrollo de regiones trópicas húmedas, debido a que aporta múltiples beneficios, mejorando sosteniblemente el desarrollo socioeconómico de los productores, así mismo constituye a ser una opción ecológica para la forestación y reforestación productiva de zonas tropicales deforestadas y destinadas a la ganadería. (INIFAP, 2017).

Los beneficios e importancia del establecimiento de este cultivo radican en el desarrollo socioeconómico de las zonas huleras propiciando empleos a mujeres específicamente en labores de almacigo como para también hombres esencialmente en las labores de pica, generando fuente de ingreso a muchas familias como también mejorando la economía agrícola del país.

Según Laigneaeum (1995) citado por García (2004), las cifras del ISRG (Grupo internacional de estudio de Hule) para el año 1994 establecían que el consumo mundial era de 5.6 millones de toneladas de hule natural y 8.7 millones de toneladas de hule sintético. Los neumáticos de aviones como las llantas radiales de los automóviles son elaborados en un 50% de hule natural.

Según GREMHULE (1998) citado por García (2004); en el año 1997 Guatemala produjo 34 mil toneladas de hule natural colocándola en una importante posición con respecto a Brasil y el resto de América Latina, el ingreso de divisas al país por la venta al exterior del caucho natural fue de 34.6 millones de dólares representando el 6.5% del total de las exportaciones FOB de Guatemala. Desde el año 1990 al año 1997 la producción de hule natural tuvo un crecimiento del 70%.

De acuerdo a GREMHULE (1998) citado por García (2004); el área nacional con producción de hule en 1997 fue de: 6,089 hectáreas en 111 fincas para la zona norte y 34,737 hectáreas en 392 fincas para la zona sur.

1.2. Sistema radicular del *Hevea brasiliensis*

El árbol de *H. brasiliensis* posee una raíz pivotante la cual en etapa de almácigo alcanza una longitud aproximada de 40 centímetros abajo del cuello de la planta. Mientras que las raíces secundarias se forman a partir del cuello de la pivotante. Así mismo existe un abundante contenido de raicillas en la superficie las cuales se encargan de remover los restos vegetales en descomposición de la superficie. De un 30 a 60% de las raíces de hule se desarrollan entre los primeros 10 centímetros. (GREMHULE, 2010).

Según GREMHULE (2010), las raíces laterales o adventicias poseen un desarrollo más rápido en comparación a la pivotante la cual crece lentamente. A los ocho días de edad de la plántula cuando el primer par de hojas empiezan abrir las raíces laterales poseen 8 cm de longitud aproximadamente, estas poseen suficientes pelos absorbentes distribuidos aproximadamente a un centímetro de la punta.

Según GREMHULE (2010), en el decimocuarto día; la ramificación de las raíces detiene su crecimiento muy rápido. En el decimosexto día, después de la germinación otras raíces laterales empiezan a ramificar y las raíces terciarias tienden a orientarse hacia los lados. Las nuevas raíces laterales regularmente no se distribuyen, sino que adoptan una forma circular incompleta.

1.3. Clon de *H. brasiliensis* (IAN 873)

Un clon se define como un individuo que desciende de un sólo organismo de forma asexual que tiene las mismas características que su predecesor. (García C., 2004).

Acorde a GREMHULE (2010), el clon IAN 873 se caracteriza por poseer un diámetro promedio de tallo de 5.99 milímetros a una edad de tres meses, además entre los clones portainjertos el IAN 873 es uno de los que menor riesgo tiene de contraer la enfermedad *Microcyclus ulei*.

De acuerdo a la Federación Nacional de Productores de Caucho Natural (FEDECAUCHO) en su Modulo Técnico de Caucho Natural (2002), establece que el clon IAN 873 es originario de Brasil por el Instituto Agronómico del Norte. Además, afirman que es muy vigoroso, de poca deficiencia en magnesio, resistente al *Microcyclus ulei* (mal suramericano), produce látex estable con un promedio de contenido de caucho seco (DRC) del 32.7%.

Según INIFAP (2017), entre las características agronómicas primarias de este clon se tiene; alto prendimiento o pegue del injerto (90%), crecimiento muy alto en los primeros años, precocidad en la pica a los 68 meses, posee una copa alta en forma de abanico, posee una corteza virgen de textura suave de 8.5 mm de grosor, mientras que de corteza regenerada la textura es suave de 8.8 mm de grosor.

De acuerdo a INIFAP (2017), entre las características agronómicas secundarias se menciona una época de refoliación temprana, alta producción de semilla, tolerante al *Corticium salmonicolor* (mal rosado).

1.4. Tocón de *Hevea brasiliensis*

Según GREMHULE (2010), tocón es un término utilizado para referirse a una planta producida en sistema de almácigo de suelo, esta es arrancada y posteriormente se le corta la raíz y el tallo en la parte aérea. Las ventajas en el uso de tocones es que se obtienen patrones más vigorosos, se requiere menos vareta para la injertación y se puede ver el sistema radicular en el arranque, tomando esto como criterio de selección.



Figura 1. Tocón de hule.
Fuente: GREMHULE, (2010).

1.5. Enraizadores y/o hormonas de enraizamiento

De acuerdo a Escobar (2009), los enraizadores son suplementos químico-sintéticos (reguladores de crecimiento) o naturales (fitohormonas) que se les añaden a las plantas para el estímulo y propagación de un mayor sistema radicular, o bien se les conoce como un complemento a base de hormonas vegetales que asegura y estimula al rápido crecimiento de las raíces.

Hartmann y Kester (1988) citado por Torres C. (2014), establecen que el desarrollo vegetal está influenciado por la diversidad de sustancias de síntesis natural conocidas como hormonas además de otras sintéticas denominadas reguladores de crecimiento. Según Escobar (2009), por hormonas vegetales se entiende a aquellas sustancias que son sintetizadas en un determinado lugar de la planta y se translocan a otro, donde actúan a bajas concentraciones, regulando el crecimiento, desarrollo y metabolismo vegetal.

Según Rodríguez (1984) citado por Martínez (2016), define a las fitohormonas como compuestos químicos que regulan el crecimiento de una planta, influyen en el desarrollo y diferenciación de células y tejidos. Una fitohormona interviene en varios procesos ejercen sus efectos mediante complejos mecanismos moleculares que desembocan en cambios de la expresión génica, regulación de vías metabólicas y cambio de flujos iónicos.

Van (2008) citado por Torres C. (2014), estipula que las hormonas de enraizamiento son de mucha utilidad en la multiplicación de plantas por esquejes, también a modo de estimulante de plantas ya constituidas con pobre desarrollo radicular. Según Gessner (1998) citado por Escobar (2009), el término “reguladores de crecimiento” es más general y abarca a las sustancias tanto de origen natural como sintetizadas en laboratorio que determinan respuestas a nivel de crecimiento, metabolismo ó desarrollo en la planta.

La diferencia entre hormonas vegetales y reguladores de crecimiento está en que todas las hormonas regulan el crecimiento pero que no todos los reguladores de crecimiento son hormonas propiamente.

Las fitohormonas más importantes son las auxinas, giberelinas y citoquininas, de acuerdo a Rodríguez (1984) citado por Martínez (2016) y también de acuerdo a Jerez (1995) citado por Escobar (2009), las funciones de cada una de estas son las siguientes:

Las **auxinas** son hormonas cuya acción fisiológica básica es sobre el mensaje genético contenido en el DNA, determinando que la planta sintetice proteínas y enzimas nuevas cambiando su química y fisiología; estimulando el crecimiento de las plantas mientras promueve el alargamiento de células a bajas dosis dando excesivo crecimiento de tallos e inhibe el desarrollo lateral de las ramas.

Otras funciones de las auxinas son; la dominancia apical, promueve la división celular en el cambium vascular y diferenciación del xilema secundario, además de estimular la formación de raíces adventicias, promueve la síntesis de etileno. En tanto a las **giberelinas** tienen como acción básica el modificar el mensaje genético que lleva el RNA, en ausencia en la planta produce la falta de amilasa, esta enzima deshace el almidón permitiendo a la planta usarlo para obtener energía, estimulando la síntesis del RNA mensajero.

Estimulan el crecimiento de las plantas actuando sinérgicamente con las auxinas, inducen a la brotación de yemas, incrementan el crecimiento en los tallos. DISAGRO (2015), adicionalmente establece que las auxinas y giberelinas participan en la multiplicación y elongación celular.

Finalmente, las **citoquininas o citocininas** también interfieren con el DNA y tiene como síntomas típicos el promover la división y diferenciación celular y retardar los síntomas de senectud en la planta por lo que se le llama hormona juvenil. Inhiben el desarrollo de raíces laterales, rompen la latencia de las yemas axilares, promueven la expansión celular en cotiledones y hojas, promueven el desarrollo de cloroplastos y así mismo promueven la organogénesis en los callos celulares.

Estas se sintetizan en los meristemos apicales de las raíces, aunque también se producen en los tejidos embrionarios y en las frutas. Se trasloca en la planta vía acropétala; desde el ápice de la raíz hasta los tallos, moviéndose a través de la savia en los vasos del xilema.

1.6. Maxiboost

Este producto es un fertilizante foliar líquido formulado a base de extractos de *Ascophyllum nodosum* (algas) que proporcionan hormonas naturales (citoquininas, giberelinas y auxinas) en cantidad necesaria para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas (ver figura 27 en anexos), además posee bioestimulantes (betainas, oligosacáridos y aminoácidos), cuyo propósito de uso es estimular los procesos metabólicos de las plantas en etapa de desarrollo o bien posterior a periodos de estrés. (DISAGRO, 2015).

Promueve una respuesta de crecimiento y desarrollo tanto foliar como radicular de manera inmediata a la planta, mejorando la resistencia al estrés provocado por déficit hídrico, temperaturas, déficit nutricional, plagas o enfermedades. El hierro, zinc, manganeso, boro, cobre y molibdeno (ver figura 26 en anexos) aseguran que los procesos hormonales de división y crecimiento celular se den activamente, permite a la planta expresar al máximo su potencial genético. (DISAGRO, 2015).

Cuadro 1. Contenido nutricional de Maxiboost (% p/v).

Composición nutricional del Maxiboost	
Azufre (S)	1.1%
Magnesio (Mg)	1.05%
Hierro (Fe)	0.5%
Manganeso (Mn)	0.25%
Cobre (Cu)	0.25%
Zinc (Zn)	0.14%
Molibdeno (Mo)	0.004%
<i>Ascophyllum nodosum</i>	30%
Auxinas, Giberelinas y Citoquininas	Del 30% de <i>ascophyllum nodosum</i> lo constituyen 3.75% de cada hormona

Fuente: DISAGRO, (2015).

De acuerdo a Senn (1987) citado por Rueda (2008), afirma que las algas marinas (específicamente el *Ascophyllum nodosum* componente principal del maxiboost) contiene muchos reguladores de crecimiento naturales como las citoquininas, auxinas y giberelinas. Según DISAGRO (2015), el beneficio de

los extractos de *A. nodosum* es un efecto sinérgico entre todos sus componentes, y no un efecto por sí solo de cada uno de sus ingredientes.

Bluenden (1980) citado por Rueda (2008), afirmó que el uso de extracto de *A. nodosum* en dosis recomendadas propician efectos positivos al incrementar el rendimiento y calidad de diversos cultivos. De acuerdo a Intagri (s.f.), establece que las algas son especies de elevado contenido de fibra, macro y microelementos, aminoácidos, vitaminas y fitohormonas.

Intagri (s.f.), dicta que los extractos de estas algas son usados como bioestimulantes, incentivan a la planta a producir sus propias hormonas, contribuyendo a la absorción y traslocación de nutrientes, lo anterior produce aumento en el crecimiento de la planta, adaptación a condiciones de estrés. Así mismo mejoran la retención de humedad del suelo y promueven la actividad de microorganismos benéficos en el suelo.

Según Intagri (s.f.), tales algas contienen betaínas que sirven como solutos en las plantas para la tolerancia al estrés abiótico como la salinidad y sequía; en síntesis, entre los beneficios de *A. nodosum* se tiene mayor crecimiento de brotes y raíz, mejor actividad fotosintética, mejora la nodulación de rizobacterias de crecimiento, regula la biosíntesis de enzimas.

1.7. Raizal 400

Arysta (2011) citado por Martínez M. (2016), afirma que el raizal es una fórmula desarrollada con el objetivo de proveer de nutrientes y estimular el crecimiento radicular de plantas tanto de trasplantes o siembras directas. La conjunta acción de su balance N-P-K-Mg-S y el complejo hormonal constituyen un suplemento adecuado a los principales requerimientos nutricionales de plantas jóvenes con el logro de obtener mejores brotes radiculares y un crecimiento vegetativo más rápido y vigoroso.

Cuadro 2. Contenido nutricional de raizal (% p/p).

Composición nutricional del Raizal 400	
Nitrógeno total	9.0 %
Fósforo disponible	45 %
Potasio	11 %
Magnesio	0.6 %
Azufre	0.8 %
Fitohormonas (citoquininas)	400 ppm
Ingrediente inerte	33.56 %

Fuente: Martínez, M., (2016).

1.8. IBA 98 SP

Marketing ARM International (s.f.), determina que el ácido indolbutírico es un regulador de crecimiento vegetal perteneciente a las auxinas, es un producto hormonal que fisiológicamente actúa en los procesos de división y elongación celular.

Calderón (2005) citado por Zavala (2018), estipula que las auxinas pueden ser naturales (producidas por la misma planta) como el ácido indolacético (AIA) y el indolacetonitrilo (IAN), pero también pueden ser sintéticas y dentro de estas destacan el ácido naftalenacético (ANA) y el ácido indol butírico (IBA).

Ingredientes activos:

Ácido 3-Indole-Butírico.....	98.0%
Ingrediente inerte.....	2.0%

Contiene 980 gramos de ingrediente activo por kilogramo de producto comercial. Entre las funciones de la hormona IBA 98 SP en las plantas se tienen:

-Estimula la formación de raíces en plantas reproducidas asexualmente (esquejes, acodos, etc.).

-Estimula la formación de raíces laterales y adventicias.

-En frutales facilita el cuajado de los frutos y retarda la abscisión (caída) de hojas y frutos.

-Responsable de la dominancia apical.

1.9. Canela (*Cinnamomun zeylanicum*)

Según González (2010), la canela es de la familia *Lauraceae*, del género *Cinnamomun* que comprende aproximadamente 250 especies, el árbol es nativo de la India e Indochina, las tres especies más importantes son *C. zeylanicum*, *C. cassia* y *C. camphora*.

1.9.1. Clasificación taxonómica

Reino ----- Plantae
 División ----- Magnoliophyta
 Clase ----- Magnoliopsida
 Orden ----- Laurales
 Familia ----- *Lauraceae*
 Género ----- *Cinnamomun*
 Especie ----- *Verum = Zeylanicum*

1.9.2. Composición química de la canela (*C. zeylanicum*)

De acuerdo a González M. (2010), el contenido químico nutricional del árbol de canela es el siguiente:

- ✓ **Ácidos:** ascórbico, palmítico p-cumérico (corteza)
- ✓ **Terpenos:** alfa-pineno, alfa-terpineno, alfa-ylangeno, beta-pineno, camfeno, cariofileno, limoneno, linalol (corteza)
- ✓ Cumarinas (corteza)
- ✓ Aceite esencial rico en benzalhehido (planta), eugenol, farnesol, gamma-terpineol, geraniol, isoeugeneol, cariofileno, 3 - fenilpropenal “aldehído cinámico” (corteza)
- ✓ Furfural (corteza)

- ✓ Alcanfor (corteza)
- ✓ Fibra (corteza)
- ✓ Taninos (planta)
- ✓ Mucílagos (corteza)
- ✓ Sacarosa
- ✓ Vainilla
- ✓ **Minerales:** boro, calcio, zinc, cloro, cobre, cobalto, cromo, estroncio, fósforo, hierro, manganeso, níquel, plomo, potasio, sodio, yodo (corteza)
- ✓ **Vitaminas:** vitamina C, niacina, tiamina

Según Carretero M. (s.f.), en el contenido químico porcentual del aceite esencial de canela los componentes mayoritarios son los siguientes:

- ✓ cineol < 3.0%
- ✓ linalol 1.0-6.0%
- ✓ beta-cariofileno 1.0-4.0%
- ✓ safrol < 0.5%
- ✓ aldehído trans-cinámico 55 a 75%
- ✓ eugenol < 7.5%
- ✓ cumarina < 0.5%
- ✓ aldehído trans-2-metoxicinámico 0.1-1.0%
- ✓ benzoato de bencilo < 1.0%

El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) en su documento “Tabla de composición de alimentos de Centroamérica” del año 2012; presenta la siguiente composición química proximal de 100 gramos de canela molida:

Cuadro 3. Composición química proximal de 100 gramos de canela molida.

Nutrientes	Cantidad en 100 g de canela molida	Unidad de medida
Agua	9.52	%
Energía	261	Kcal
Proteína	3.89	g
Grasa total	3.19	g
Carbohidratos	79.85	g
Fibra dietética	54.30	g
Ceniza	3.55	g
Calcio	1228	mg
Fosforo	61	mg
Hierro	38.07	mg
Tiamina	0.08	mg
Riboflavina	0.14	mg
Niacina	1.30	mg
Vitamina C	29	mg
Vit A. Equiv. Retinol	14	mcg
Ac. Grasos monoinsat.	0.48	g
Ac. Grasos poliinsat.	0.53	g
Ac. Grasos saturados	0.65	g
Colesterol	0	mg
Potasio	500	mg
Sodio	26	mg
Zinc	1.97	mg
Magnesio	56	mg
Vitamina B6	0.31	mg
Vitamina B12	0	mcg
Ácido fólico	0	mcg
Folata equiv. FD	29	mcg
Fracción comestible	1	%

Fuente: INCAP, (2012).

1.10. Factores influyentes en la propagación de plantas por estacas

De acuerdo a lo citado por Torres (2014) y Escobar (2009), los factores que condicionan el enraizamiento de estacas son los siguientes:

1.10.1. Edad de la planta madre

Según Dirr & Heuser (1987); Botti (1999) citados por Torres (2014), las estacas obtenidas de plantas jóvenes tienen mayor capacidad para formar raíces. Botti (1999) citado por Torres (2014), dicta que un tratamiento previo que logre rejuvenecer a la planta o que mantenga la fase juvenil (podas drásticas, injertos, aplicación de hormonas) será efectivo para favorecer el enraizamiento de estacas.

Evans (1951) citado por Escobar (2009), afirma que los esquejes más fáciles de enraizar son aquellos provenientes de ramas jóvenes recién brotadas con la madera semidura, se debe evitar ramas expuestas al sol ya que su tasa de propagación es mucho menor.

1.10.2. Edad del esqueje

Según Hartmann y Kester (1988) citado por Torres (2014), los esquejes tomados de plántulas jóvenes (crecimiento juvenil) enraízan con mayor facilidad que aquellos tomados de plántulas adultas, esto se explica por el incremento en la producción de inhibidores de las raíces a medida que la planta aumenta de edad.

1.10.3. Efecto de la luz

De acuerdo a Xavier (2002) citado por Torres (2014); la irradiación, el fotoperiodo y la calidad de la luz solar son necesidades variables para cada especie, pero estas deben ser adecuadas para mantener una tasa fotosintética que garantice suficiente producción de carbohidratos los cuales son necesarios para la sobrevivencia de las estacas, así como para la iniciación radicular.

De acuerdo a Hartmann y Kester (1987) citado por Torres (2014), el enraizamiento de estacas es limitado con radiación solar por debajo del nivel óptimo debido a la carencia de carbohidratos y suministro de auxinas a la base de la estaca. Mientras que por encima del nivel óptimo existirá demasiada concentración de carbohidratos, fotodestrucción de auxinas y concentración de sustancias promotoras o inhibidoras de crecimiento.

Hartmann & Kester (1980) y MacDonald (1986) citado por Torres (2014), dictan que la duración e intensidad de la luz son factores a considerar por ser esenciales en la fotosíntesis y en la producción de hormonas, básicamente en la formación de carbohidratos y por tanto necesaria para la iniciación, formación de raíces y yemas en las estacas.

Según Evans (1951) citado por Escobar (2009), para que una estaca pueda enraizar se requiere una superficie foliar mínima para asegurar la fotosíntesis, la cual asegura la producción de carbohidratos para la suplencia de necesidades correspondientes al desarrollo radicular. Una estaca sin hojas no enraiza y si durante el proceso de enraizamiento pierde sus hojas tampoco podrá hacerlo.

1.10.4. Efecto de la temperatura ambiental

Según Hartmann y Kester (1987) citado por Torres (2014), la temperatura ambiental excesivamente elevada estimula al desarrollo de yemas con anticipación al desarrollo radicular aumentando la pérdida de agua vía foliar. De acuerdo a Carrera (1977) citado por Torres (2014), la alta temperatura aumenta la respiración en los tejidos, provocando agotamiento de las reservas nutricionales mientras que con bajas temperaturas reducen el proceso fotosintético.

De acuerdo a Xavier (2002) citado por Torres (2014); la disminución en el metabolismo de las estacas conlleva a un mayor tiempo para el enraizamiento e incluso no proporcionando condiciones adecuadas para que ocurra el desarrollo y crecimiento radicular.

Según Hartmann y Kester (1988) citados por Torres (2014), la temperatura ambiental óptima para el enraizamiento varía según la especie. Botti (1999) citado por Torres (2014), señala que la mayoría de las especies requieren rangos diurnos de 20-27 °C. Así mismo, Hartmann & Kester (1980) y Botti (1999) citados por Torres (2014), afirman que la temperatura nocturna ideal debe estar alrededor de los 15 °C.

De acuerdo a Evans (1951) citado por Escobar (2009), a mayor intensidad lumínica habrá mayor temperatura, para que ocurra fotosíntesis y que esta exceda ligeramente al grado de respiración deberá haber 28 °C de temperatura con 8% de intensidad lumínica.

Según Evans (1951) citado por Escobar (2009), con una temperatura de 32 °C y una intensidad lumínica menor al 1%, las estacas sufrirán carencia de carbohidratos por lo tanto no sucederá la fotosíntesis. En tanto a una intensidad lumínica elevada acumulará en exceso los carbohidratos dando una elevada actividad fotosintética provocando amarillamiento y caída de hojas.

1.10.5. Humedad relativa

De acuerdo a Díaz (1991) citado por Torres (2014), en los comienzos del enraizado se precisa una humedad relativa del aire alta para reducir la evapotranspiración y evitar marchitamiento de propágulos.

Broudeau (1981) citado por Torres (2014), dicta que las hojas son en extremo sensibles a cualquier pérdida de agua por evaporación, que no se compensa con la absorción hídrica de la parte baja de la estaca aun estando esta sumergida en agua, puesto que los vasos conductores estarán parcialmente bloqueados por mucilagos y productos de la oxidación formados en la superficie del corte.

Según Torres (2003) citado por Torres (2014), la pérdida de agua es una causa principal de la muerte de estacas antes de la formación de raíces, puesto para que haya división celular es necesario que las células de los tejidos de la estaca deban estar turgentes.

Acorde a Evans (1951) citado por Escobar (2009), el ambiente de las estacas deberá estar saturado de humedad (100%) puesto que las hojas son sensibles a la pérdida hídrica por evapotranspiración, la cual no se compensa por la absorción de agua a través de los haces vasculares de la estaca aun estando sumergida en agua porque los vasos conductores estarán semibloqueados por un mucílago y productos de oxidación sobre el corte.

1.10.6. Medio de enraizamiento (sustrato)

Según Haissig (1986) citado por Torres (2014), el factor más importante asociado con el medio de enraizamiento es la aireación, la relación aire-agua en el medio de enraizamiento es vital en el éxito de la macro propagación, al influir en la disponibilidad de oxígeno que pueda existir en la base de la estaca. Una atmósfera de sustrato saturada cuando carece de oxígeno causa pudriciones, riegos deficientes, y una concentración de oxígeno en el medio muy alta que conduce a las formaciones de callo en la base de la estaca y en efecto un crecimiento radicular lento.

Avanzato y Cherubini (1993) citado por Torres (2014), mencionan que el tamaño de las partículas interfiere en el enraizamiento de estacas, trabajando con sustratos de “A” perlitas de diferentes granulometrías obtuvieron resultados significativamente superiores con mayor granulometría. Tal hecho está asociado con la mayor capacidad de retención de agua por la perlita de granulometría fina en detrimento de la aireación.

Según Hartmann & Kester (1988) y Botti (1999) citados por Torres (2014), el sustrato de propagación debe cumplir tres funciones importantes para el éxito del proceso: sujetar los esquejes o estacas, retener humedad y permitir el intercambio de gases.

De acuerdo a Botti (1999) citado por Torres (2014), cualquier material o mezcla de materiales que se utilice como medio debe permitir una buena retención de agua (sin acumularla excesivamente) y una aireación que permita un contenido de oxígeno adecuado para la respiración de los tejidos sometidos a la emisión de nuevas raíces.

Así mismo James (1986) citado por Torres (2014), establece que el sustrato debe poseer un buen drenaje y estar libre de microorganismos, además de contener un leve contenido de materia orgánica, con una densidad aparente baja, para facilitar su mezcla, manipulación, traslado y transplante.

Según Evans (1951) citado por Escobar (2009), entre los medios de enraizamiento más empleados se tiene: la arena, vermiculita, aserrín, cáscara de arroz, pergamino de café descompuesto y fibra de coco. El más fácil de conseguir es el aserrín el cual no debe usarse fresco por la presencia de resinas tóxicas, por ello se deberá lavar y dejar descomponer, además de utilizar un fungicida preventivo.

Evans (1951) citado por Escobar (2009), dicta que bajo condiciones desequilibradas de aireación y drenaje se forma una hinchazón en la base de la estaca causada por la turgencia del cambium, apareciendo el primordio radical. Bajo condiciones óptimas el enraizamiento ocurrirá en dos semanas, pero en la práctica lo usual es que ocurra entre la tercera hasta la sexta semana.

1.10.7. Tratamiento de esquejes con reguladores de crecimiento

Según Wendling, et al. (2001) citado por Torres (2014), la aplicación de reguladores de crecimiento para el enraizamiento es necesaria cuando el balance citocinina/auxina se encuentra elevado, por ende, es necesario que haya un balance adecuado de auxinas, giberelinas y citocininas; es decir un equilibrio entre promotores e inhibidores del proceso de iniciación radicular.

Wendling, et al. (2001) citado por Torres (2014), afirma que para promover tal equilibrio comúnmente se realiza a partir de la aplicación exógeno de reguladores de crecimientos como ácido indolacético (AIA), ácido indolbutírico (AIB) o con ácido naftalenacético que puedan elevar el contenido de auxina en el tejido y proporcionar mayor porcentaje, velocidad, calidad y uniformidad de enraizamiento.

De acuerdo a Leakey et al. (1982) citado por Torres (2014), en estudios previos se demostró un efecto positivo de las auxinas al promover el desarrollo de raíces adventicias en la base de estacas por medio de la capacidad de promover la iniciación de primordios radicales y de transportar carbohidratos y cofactores a la base de la estaca.

Según Silvori (1980) citado por Torres (2014), la acción auxínica se ejerce en dos etapas; en la primera el efecto es de estimulación de crecimiento, pero su duración se acorta eventualmente con el aumento

de la concentración, terminando por provocar una inhibición que caracterizaría la segunda etapa. El agente causal es el etileno cuya síntesis es estimulada cuando la concentración de la auxina aumenta.

De acuerdo a Escobar (2009), el empleo de dichos reguladores de crecimiento es indispensable para la formación, desarrollo y crecimiento de raíces; los más empleados son el ácido indolbutírico, ácido naftalenacético y el ácido indolacético.

Según Evans (1951) citado por Escobar (2009), entre los métodos para emplear estos reguladores se tiene:

Inmersión rápida: consiste en introducir las estacas por escasos segundos en una solución de ácido indolbutírico a 0.7-0.8% en alcohol al 60%. Así mismo en 0.4 g de ácido naftalenacético y 0.4 g de ácido indolbutírico disueltos en 60 cc de alcohol al 95% y 40 cc de agua.

Inmersión lenta: consiste en introducir las estacas por 24 horas en una solución de ácido indolbutírico y ácido naftalenacético a razón de 80-100 mg/litro de alcohol al 60%.

Método instantáneo: se pesan 800 mg de ácido indolbutírico y se diluye en 50 cc de alcohol absoluto, se agrega 70 g de talco como base, se deja secar y se añade algún fungicida.

Preparada la mezcla, se preparan las estacas dentro de una taquilla de agua, se efectúan cortes de hojas y de tallo, haciendo un corte a bisel en el extremo del tallo, se extrae la estaca del agua, se limpia la base e inmediatamente se coloca el regulador y se colocan a enraizar dentro del propagador.

2. Marco referencial

2.1. Localización geográfica de finca Mixpillá

Finca Santa Ana Mixpillá está en jurisdicción del municipio de San Miguel Panán del departamento de Suchitepéquez. Como se ve en la figura 2 se localiza en la ruta que va de Nahualate hacia Chicacao, distanciada a 2.9 kilómetros del municipio de Chicacao.

La línea de color café representa el camino adoquinado entre la hulera de finca la Concha que conduce a la garita de la finca, y el área limitada por la línea verde representa el área de almacigo de bolsa donde se estableció el experimento.

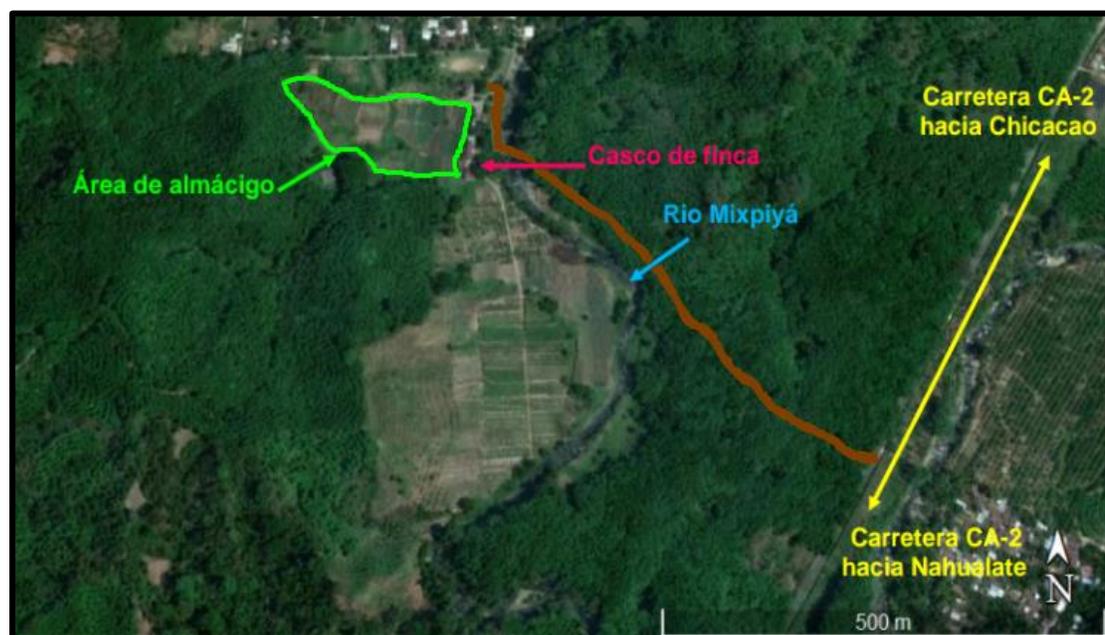


Figura 2. Ubicación de Finca Santa Ana Mixpillá.

De acuerdo a Roesch (1996) citado por Aquilá (2019), la finca se ubica en las coordenadas $14^{\circ}31'20''$ latitud norte y $91^{\circ}20'45''$ longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich, a una altura de 390 msnm.

2.2. Croquis de finca Mixpillá y ubicación del área de investigación

En la figura 3 se presenta el croquis de la totalidad de la finca, el área en la cual se ubica la figura de color verde es donde se encuentra el almácigo de bolsa, lugar donde se estableció el experimento y por ende donde se realizó dicha investigación.

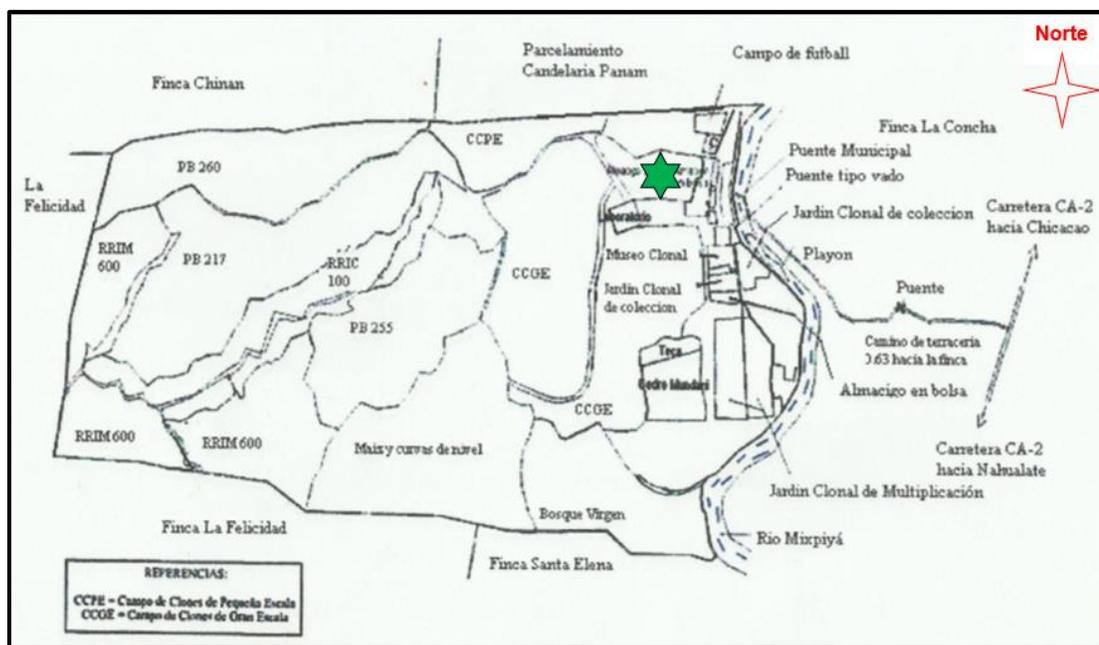


Figura 3. Croquis de Finca Santa Ana Mixpillá.

Fuente: Aquilá, (2019).

2.3. Descripción ecológica de finca Mixpillá

2.3.1. Zona de vida y clima

Según De La Cruz (1982) citado por Aquilá (2019), el clima es tropical y se caracteriza por no presentar heladas, conformado por dos estaciones: la estación seca que abarca de diciembre a abril y la estación lluviosa que va de mayo a noviembre. La finca se sitúa en una zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido (bmh-Sc).

Con base a los registros meteorológicos de la finca, se calcularon los parámetros climáticos (precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa) bajos los cuales estuvo sometido el experimento durante los tres meses de estudio (julio, agosto y septiembre), tales parámetros se describen a continuación:

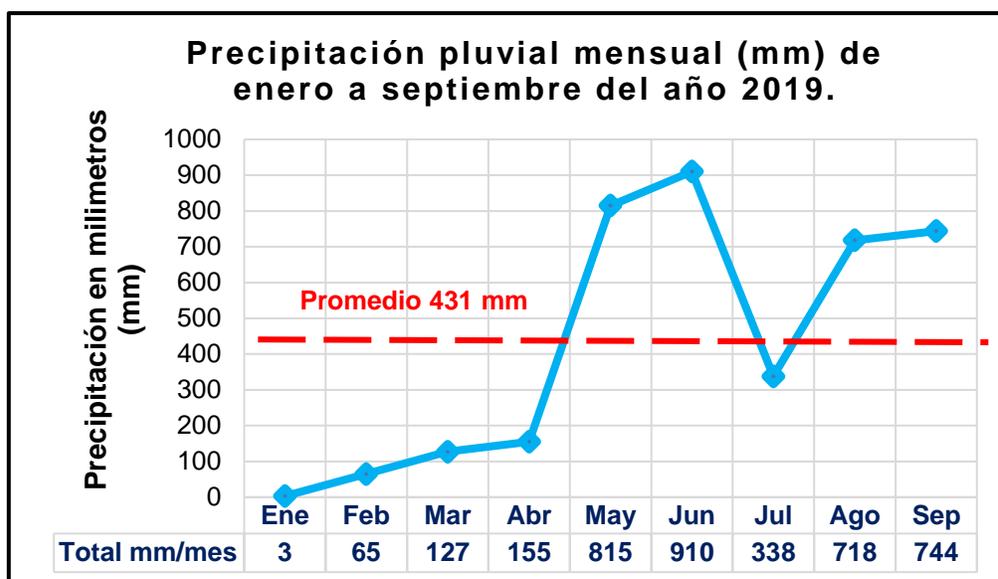


Figura 4. Precipitación pluvial mensual (mm) de enero a septiembre de 2019 en Finca Santa Ana Mixpillá.

En la figura 4 se observa que de los tres meses de evaluación de productos (jul, ago, sep) julio fue el mes en el que hubo menor precipitación para los tocones con 338 mm, contrariamente septiembre fue el mes en el que hubo más lluvia con 744 mm.

Entre los tres meses de investigación existió un acumulado pluvial de 1800 mm, promediando 600 mm mensuales y la vez promediando 20 mm diarios de lluvia sin considerar el mes.

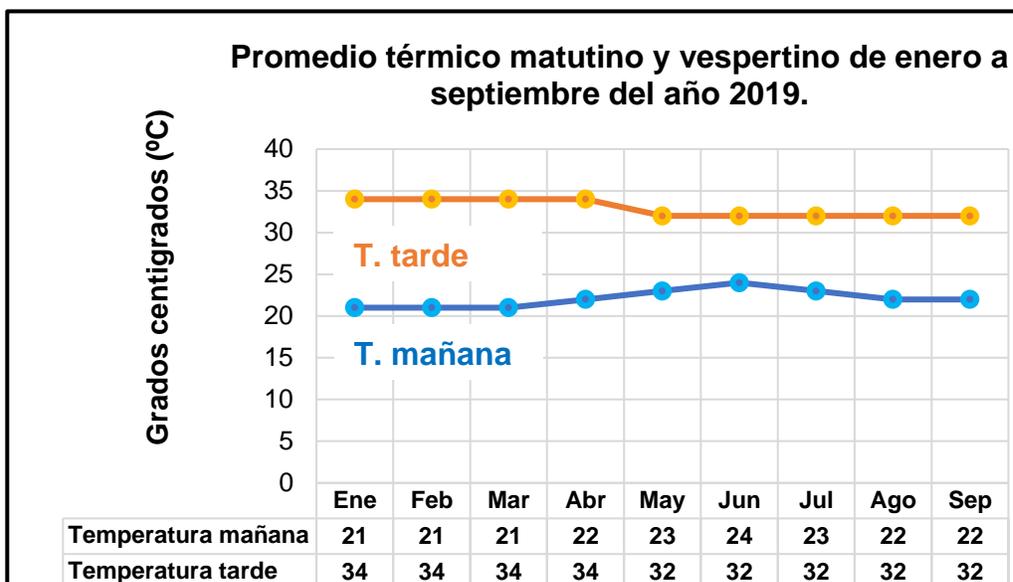


Figura 5. Promedio de temperatura matutina y vespertina mensual (°C) de enero a septiembre de 2019 en Finca Santa Ana Mixpillá.

La figura 5 muestra que la mayor temperatura matutina se presentó en el mes de julio con 23 °C, existiendo descenso de 1 °C para los meses de agosto y septiembre. La temperatura vespertina se mantuvo en 32 °C durante los tres meses de estudio.

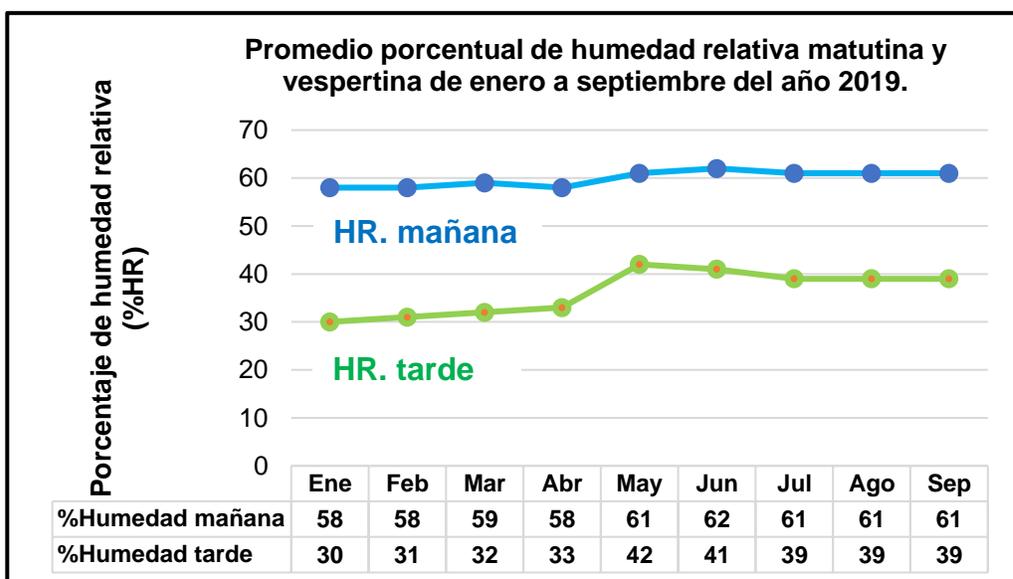


Figura 6. Promedio de humedad matutina y vespertina mensual (% HR) de enero a septiembre de 2019 en Finca Santa Ana Mixpillá.

En la figura 6 puede observarse que no hubo cambio alguno respecto al porcentaje de humedad relativa durante la mañana puesto que esta se mantuvo en 61% durante los tres meses.

De julio a septiembre respecto al porcentaje de humedad relativa de la tarde tampoco se presentó cambio alguno durante los tres meses debido a que tal humedad permaneció, siendo 39% en promedio.

En síntesis, promediadamente en julio, agosto y septiembre existió un descenso de humedad relativa del 22% (de la mañana a la tarde) esto provocado por un cambio de temperatura de 10 °C (de la mañana a la tarde).

2.3.2. Suelo

Según Simmons, Tárano & Pinto (1959), dentro de la finca se encuentran representadas las series Panán y Cutzán. Panán abarca el 65% del área de la finca, la ceniza volcánica clara es el material parental de los suelos, drenaje interno bueno, la superficie (20-30 cm) presenta textura franco arenosa, estructura granular. El subsuelo es color café de textura franco arenosa y espesor de 60-70 cm.

De acuerdo a Simmons, Tárano & Pinto (1959), la serie Cutzán del 35% de área restante de la finca son suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas claras, relieve ondulado inclinado, drenaje interno bueno, suelo superficial café oscuro, textura franco arenosa fina, espesor de 10 a 20 cm. Subsuelo color café, textura franco arenosa, espesor entre 20 a 50 cm.

2.4. Antecedentes de los productos evaluados

2.4.1. Algas marinas (*Ascophyllum nodosum*)

Rueda (2008), evaluó el efecto de varios tratamientos para el enraizamiento de acodos aéreos en el cultivo de *Theobroma cacao* (cacao) entre los cuales se mencionan:

T1 (Root-hor al 1%), T2 (Root-hor al 1.5%), T3 (Agrostemin-GL al 1%), T4 (Agrostemin-GL al 1.5%), T5 (Triggrr-foliar al 1%), T6 (Triggrr-foliar al 1.5%) y el T7 (testigo sin bioestimulante).

Los resultados del análisis de varianza presentaron diferencias estadísticamente significativas por el efecto de los tratamientos; afirmando que las mejores dosis de estimulantes resultaron ser; Root-hor al 1%, Agrostemin-GL al 1% y el Triggrr al 1.5 % siendo estos tratamientos los que dieron mayores resultados en cuando al porcentaje de ramas enraizadas, volumen radicular, longitud de raíces, diámetro radicular y emisión de brotes de la rama secundaria y principal.

Con base a los resultados; Rueda (2008) concluyó que para el enraizado de los acodos aéreos entre los tres mejores tratamientos estaba incluido el Agrostemin-GL al 1%, mencionando que es un producto de extracto natural de algas frescas de *Ascophyllum nodosum* que no contiene ningún aditivo artificial, siendo este un almacén de promotores biológicos fitohormonales (auxinas, giberelinas y citoquininas).

2.4.2. Raizal 400

Zavala C. (2018), evaluó tres enraizadores con tres sustratos en esquejes de *Crataegus guatemalensis* (manzanilla), entre los tres enraizadores evaluados se hizo uso del raizal 400.

Entre los resultados obtenidos por Zavala respecto a la variable pegue de esquejes de manzanilla; el tratamiento 7 (raizal + arena) con una media de 14.06% de pegue fue el segundo mejor tratamiento.

En las conclusiones se determinó que el segundo mejor tratamiento es el uso de sustrato arena más la aplicación de raizal, ya que en este se obtuvo un porcentaje de pegue de 14.06%, con una longitud radicular de 1.1.cm y un número de brotes promedio de 10.67.

Mientras que Martínez (2016), en su tema de tesis también evaluó enraizadores en la producción de almácigo de *Coffea arabica* (Café), en total se efectuaron cuatro aplicaciones, la primera fue 15 días después del trasplante a bolsa y las otras tres fueron a un intervalo de una cada mes, se mezcló un kilogramo de producto en 200 litros de agua, aplicando 50 cc de solución por planta.

Específicamente para la variable peso fresco de raíz, el mejor resultado obtenido fue de una media de 187 gramos correspondiente al tratamiento del raizal 400. Referente a la variable peso seco de raíz al igual que en el peso fresco el tratamiento raizal 400 fue el mejor con una media de 39.19 gramos.

En la variable peso fresco foliar la mejor media obtenida fue de 321 gramos perteneciente al tratamiento del raizal, mismo caso con el peso seco foliar donde el raizal fue mejor con 80.54 gramos en promedio.

Finalmente, en la variable altura de planta el raizal fue el segundo mejor tratamiento con una media de 29.15 centímetros de altura.

2.4.3. IBA 98 SP

Zavala C. (2018), en su evaluación de tres enraizadores con tres sustratos en esquejes de *Crataegus guatemalensis* (manzanilla) en Santa Lucía Utatlán, hizo uso del IBA 98 SP como parte de sus tratamientos.

Entre los resultados obtenidos, respecto a la variable pegue de esquejes de manzanilla el tratamiento 4 (IBA 98 + arena) reportó una media de 0.00 % de pegue, el tratamiento 5 (IBA 98 + broza) y tratamiento 6 (IBA 98 + tierra) respectivamente tuvieron medias de 3.12 y 3.64%, para esta variable el mejor tratamiento fue el número uno; arena + rootex (ácido indolebutyrico-3) reportando una media de 29.68% de pegue.

Para la variable longitud radicular, el tratamiento 4 no reportó valor promedio alguno, mientras que los tratamientos 1, 5 y 6 estadísticamente fueron iguales presentando los mejores resultados, respectivamente estos fueron de; 2.90, 2.77 y 2.73 centímetros.

Respecto al número de brotes el tratamiento 4 fue el sexto mejor tratamiento con una media de 4.66 brotes, el tratamiento 5 fue el quinto mejor con 7 brotes promedio, el tratamiento 6 fue el tercer mejor tratamiento con 14.66 brotes, así mismo el mejor fue el tratamiento 1 con 39 brotes promedio.

Mientras que Martínez M. (2016), en su evaluación de enraizadores para la producción de almácigo de *Coffea arábica*, entre sus tratamientos hizo uso de un producto llamado “raicel” que contiene ácido indolbutírico como materia activa.

Entre los resultados obtenidos por Martínez específicamente para la variable peso seco de raíz; el tratamiento E (raicel) fue el segundo mejor tratamiento (39.06 gramos) con 0.13 gramos menos que el mejor tratamiento el cual fue el tratamiento B (raizal 400).

Para la variable diámetro de tallo, de acuerdo al análisis, estadísticamente los tratamientos E (raicel con 5.5 cm), F (razormin con 5.3 cm) y D (eneroot con 5.3 cm) fueron igualmente los mejores tratamientos.

2.4.4. Canela (*Cinnamomun zeylanicum*)

Torres C. (2014), establece el uso de canela como sustituta ecológica de los enraizadores comerciales tras evaluar tres enraizadores orgánicos (lenteja, trigo y canela) y ácido indolacético en esquejes de *Physalis peruviana linnaeus*.

En la evaluación de Torres, en el cuadro de ANDEVA (ver cuadro 4) se determinó la existencia de diferencias significativas en el prendimiento de esquejes del cultivo evaluado.

Cuadro 4. Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento a los 50 días después de haber instalado.

FV	SC	GL	CM	FC	FT	Significación
Tratamiento	0.361	4	0.090	6.933	3.474	**
Error	0.130	10	0.013			
Total	0.491	14				

Fuente: Torres, (2014).

Finalmente, en la prueba múltiple de medias Duncan, para la variable porcentaje de prendimiento de esquejes; fue el tratamiento canela el que produjo mejor y mayor porcentaje de pegue en comparación a los demás.

Cuadro 5. Prueba de Duncan.

Tratamientos	Promedios	Significación	
T4 ----- (canela molida)	0.78	a	
T1 ----- (testigo)	0.48		b
T5 ----- (ácido indolacético)	0.45		b
T3----- (agua de trigo germinado)	0.41		b
T2----- (agua lenteja germinada)	0.32		b

Fuente: Torres, (2014).

Respecto a las otras dos variables (número y tamaño de brotes) que evaluó Torres, en ambos casos no se reportaron diferencias significativas entre tratamientos, estableciendo que el tratamiento canela es igualmente mejor respecto a los demás. Concluyendo que el uso de canela como enraizador orgánico ejerce un crecimiento y desarrollo de plantas igual a los enraizadores químicos (ácido indolacético).

De acuerdo a la información bibliográfica de Torres, los componentes químicos más abundantes en la canela son: el aldehído cinámico y el eugenol. Según Gómez y López (2009), ambos componentes ejercen actividades microbianas (hongos y bacterias).

El eugenol inhibe la síntesis de amilasas y proteasas, deteriora y rompe la pared celular, y su grupo hidroxilo se enlaza a las proteínas bloqueando la acción enzimática de las bacterias. El aldehído cinámico, debido a su carácter hidrofóbico y lipofílico, rompe los lípidos de la membrana causando la muerte de los microorganismos, su grupo aldehído se entrecruza con el DNA y proteínas de los microorganismos interfiriendo en su desempeño.

Pese a que Torres no menciona el contenido de macro ni microelementos en canela, de acuerdo a INCAP (2012), los elementos más abundantes son el fósforo, potasio y calcio (ver cuadro 3), en 100

gramos de canela en promedio se tienen 61 mg de fósforo, 500 mg de potasio y 1228 mg de calcio.

Según Inpofos (2006) citado por Martínez (2016), la función del fósforo radica en que forma parte esencial de la molécula de ATP cuya energía de esta es esencial para la síntesis de carbohidratos los cuales son responsables en la formación de células nuevas en las raíces mediante el proceso de mitosis.

Según Intagri (2017), para la elongación celular es necesario la acumulación de soluto que pueda crear el potencial osmótico interno requerido para la presión de turgencia y dicho soluto requerido en las vacuolas es el potasio el cual aumenta el potencial osmótico favoreciendo la entrada de agua, elongando el tejido radicular.

Según Sela, G. (2020), el potasio desencadena la activación de enzimas y también la síntesis de ATP fundamental en la producción de carbohidratos. Larriva (2003), afirma que el potasio se dirige hacia los puntos de crecimiento de las plantas acumulándose y fortaleciendo la pared celular y por ende los tejidos, incluyendo el de las raíces desarrollándolas y multiplicándolas.

Según Fertilab (S.F.), el calcio es necesario en la producción de pelos absorbentes, interviniendo en la división celular, actuando como refuerzo en la pared celular, por ende, la participación del calcio es esencial en la densidad y longitud de pelos radiculares.

Con todo lo descrito, en el caso de Torres, es de considerar que la razón por la cual la canela produjo buenos resultados respecto a los demás, haya sido por el efecto antimicrobiano del eugenol y aldehído cinámico, manteniendo la zona radicular de los esquejes libres de microorganismos dañinos, en combinación sinérgica con las funciones específicas del fósforo, calcio y potasio, cuyas actividades están directa e indirectamente relacionadas al desarrollo radicular.

III. OBJETIVOS

1. General

- Evaluar el efecto de enraizadores sobre el sistema radicular en patrón de *Hevea brasiliensis*, “hule”, en clon IAN 873 en el almácigo de finca Santa Ana Mixpillá, San Miguel Panán, Suchitepéquez.

2. Específicos

- 2.1. Evaluar el efecto de todos los tratamientos sobre el diámetro del tallo de los tocones de *H. brasiliensis*.
- 2.2. Conocer el efecto de los enraizadores sobre el crecimiento radicular de tocones de *H. brasiliensis* del clon IAN 873.
- 2.3. Evaluar qué tratamiento estimulará volumétricamente mejor desarrollo de raíces en los portainjertos IAN 873.
- 2.4. Determinar qué tratamiento producirá mayor biomasa radicular en el clon portainjerto de la finca.
- 2.5. Cuantificar el costo económico de la aplicación de cada uno de los tratamientos evaluados.

IV. HIPOTESIS

Ho 1: Todos los tratamientos en evaluación tendrán el mismo efecto sobre las variables de respuesta.

Ha 1: Al menos un tratamiento en estudio ejercerá efecto diferente sobre las variables de respuesta.

V. METODOLOGIA

1. Materiales

Esencialmente los materiales experimentales que se evaluaron y utilizaron son los siguientes:

Cuadro 6. Cantidad de material experimental utilizado.

Cantidad	Material
450 tocones	<i>H. brasiliensis</i> (clon IAN 873)
336 gramos	Canela en polvo (<i>Cinnamomun verum</i>)
112 mililitros	Maxiboost
112 gramos	Raizal 400
78 gramos	IBA 98 SP

Respecto a los materiales, equipos y herramientas que se utilizaron para el establecimiento, aplicación de tratamientos, manejo de experimento y toma de resultados de la investigación se enlistan en el cuadro 7:

Cuadro 7. Cantidad de material, equipo y herramienta utilizada.

Cantidad	Material, equipo o herramienta	Cantidad	Material, equipo o herramienta
1	Balanza gramera	1	Libreta de campo
1	Probeta de 1 L	1	Lápiz
1	Probeta de 100 ml	1	Calculadora
1	Regla milimetrada	1	Recipiente de 50 cc
1	Horno convección	1	Navaja
450	Bolsas de almácigo para hule	1	Computadora portátil
2	Piocha	2	Estacas de madera
2	Azadón	1	Celular (cronometro)
2	Tijeras de poda	2	Palas
33.77	m ³ de suelo de la finca	1	Manguera de 15 m
3	Cubetas de 15 litros	1	Recipiente de 125 cc
3.10	Litros de alcohol al 95%	1	Pick up toyota
1	Vernier	2	Machetes
1	Recipiente de gaseosa de 500 ml		

2. Descripción de los tratamientos

En el cuadro 8 se presenta el listado de los tratamientos evaluados con su respectiva dosificación para los tocones de *H. brasiliensis*:

Cuadro 8. Tratamientos aplicados en clon portainjerto IAN 873.

Tratamiento	Enraizador	Dosis/ aplicación
T1	1 aplicación de canela	3 g/planta
T2	2 aplicaciones de canela	3 g/planta
T3	3 aplicaciones de canela	3 g/planta
T4	1 aplicación de maxiboost	0.62 cc/planta
T5	2 aplicaciones de maxiboost	0.62 cc/planta
T6	3 aplicaciones de maxiboost	0.62 cc/planta
T7	1 aplicación de raizal 400	0.63 g/planta
T8	2 aplicaciones de raizal 400	0.63 g/planta
T9	3 aplicaciones de raizal 400	0.63 g/planta
T10	1 aplicación de IBA 98 SP	0.25 g/planta
T11	2 aplicaciones de IBA 98 SP	0.25 g/planta
T12	3 aplicaciones de IBA 98 SP	0.25 g/planta
T13 (testigo)	1 mes sin enraizador	-
T14 (testigo)	2 meses sin enraizador	-
T15 (testigo)	3 meses sin enraizador	-

Tal y como se observa en el cuadro anterior, en la presente investigación se evaluó el efecto de enraizadores en distintas cantidades de aplicación.

3. Diseño experimental

Es de aclarar que se establecieron tres ensayos de cinco tratamientos cada uno. Los 15 tratamientos totales (cuadro 8) de los tres ensayos se distribuyeron aleatoriamente en el mismo espacio experimental dentro del almácigo. (Figura 8).

El análisis estadístico se realizó por separado, es decir qué, se agruparon exclusivamente los cinco tratamientos de una sola aplicación, solamente los cinco tratamientos de dos aplicaciones y únicamente los cinco tratamientos de tres aplicaciones por aparte.

En los tres ensayos se utilizó un diseño experimental bloques completos al azar. El número de repeticiones para cada ensayo se calculó con la fórmula de grados de libertad de este diseño:

$$\begin{aligned} \text{GLE} &= (t-1) \times (r-1) \\ 12 &= (5-1) \times (r-1) \end{aligned}$$

En donde: $\text{GLE} = 12$
 $t = \text{número de tratamientos}$
 $r = \text{repeticiones}$

Sustituyendo **GLE** (grados libertad de error) por 12, **t** por 5 (es decir 5 tratamientos) y a la vez despejando para **r** da como resultado; 4 repeticiones como mínimo.

Pero finalmente se realizaron 5 repeticiones de cada tratamiento. Con base a lo anterior se tuvieron en total 75 unidades experimentales planteando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta observada o medida en el i-ésimo tratamiento y en el j-ésimo bloque

μ = Media general de la variable de respuesta

T_i = Efecto del i - ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j - ésimo bloque

E_{ij} = Error asociado a la ij - ésima unidad experimental

4. Unidad experimental

Cada unidad experimental estuvo representada por seis tocones de *H. brasiliensis* (clon IAN 873) para cada tratamiento y cada repetición, es decir que para cada tratamiento en total se tuvieron 30 plantas patrón en estudio.



Figura 7. Unidad experimental en almácigo.

Cada una de las plantas y/o tocones se sometieron a análisis radicular para la respectiva lectura de las variables de respuesta.

5. Establecimiento del experimento

5.1. Obtención de sustrato

-Con objeto de aprovechar los recursos disponibles en finca; utilizando una piocha y azadón se procedió a picar y raspar cinco franjas de suelo precisamente donde se ubicaron y acomodaron las cinco hileras dobles de plantas en bolsa de almácigo.

-Para el llenado de las bolsas de almácigo utilizadas, se extrajeron 33.77 m³ de suelo (0.0750 m³/bolsa) procedente de la huera de la finca.

-El suelo raspado y picado de las franjas se acumuló, y posteriormente este mismo fue utilizado como complemento para el llenado de bolsas de los tratamientos.

5.2. Llenado de bolsas

-Con el sustrato (suelo de finca) se llenaron manualmente 450 bolsas plásticas específicas para el cultivo de *H. brasiliensis* en etapa de almácigo, con las siguientes dimensiones; 9" x 18" x 0.006 milésimas de pulgada.

5.3. Ordenamiento de bolsas

-Las 450 bolsas se ordenaron y/o enfilaron en cinco hileras dobles de 90 plantas cada hilera.

-La aleatorización se realizó por el método de la tómbola distribuyendo al azar en cada doble hilera los quince tratamientos en estudio.

-En el siguiente croquis experimental; cada cuadro representa las seis plantas que constituyeron una unidad experimental de cada tratamiento (del 1 al 15), basado en el cuadro ocho:

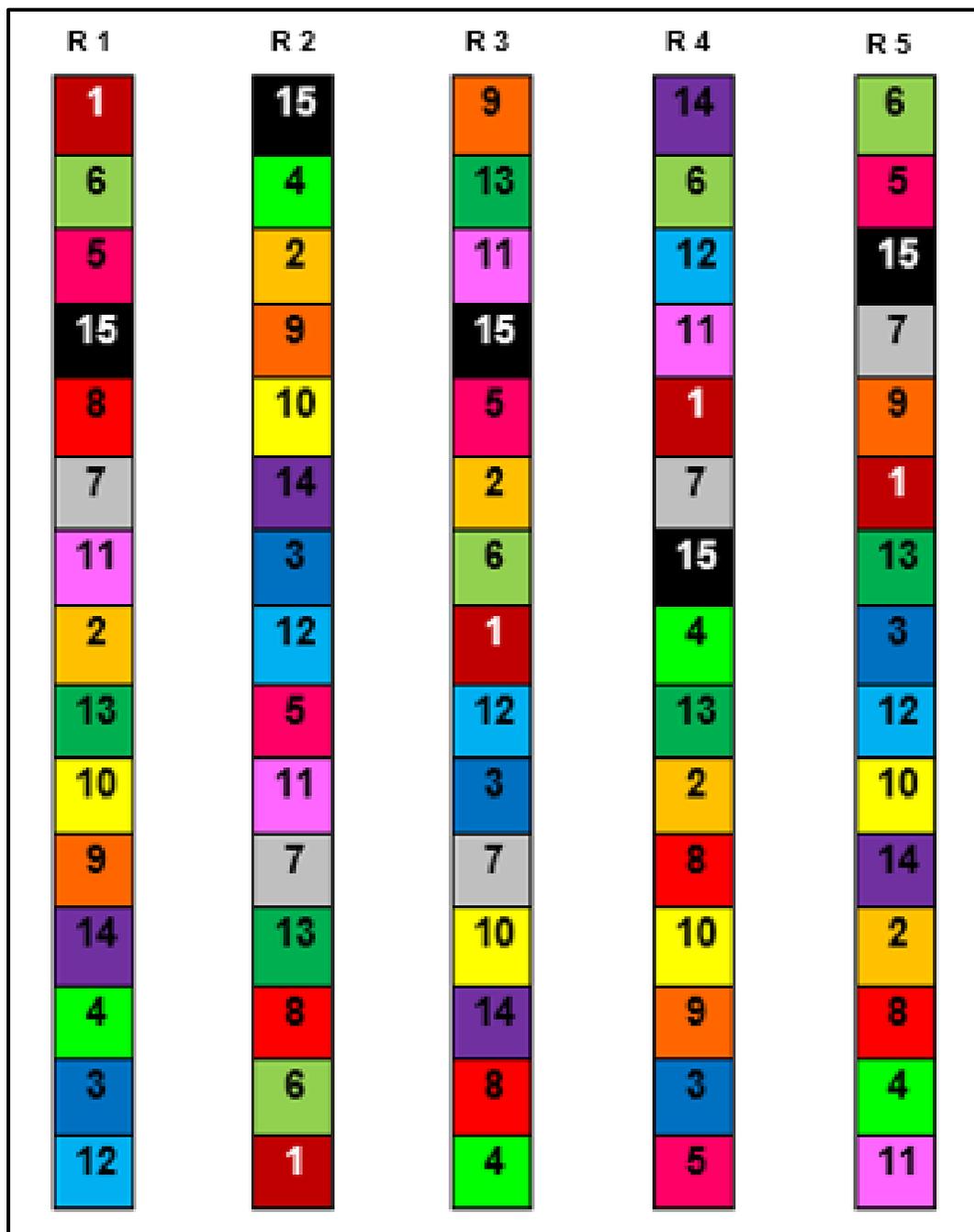


Figura 8. Croquis de campo y aleatorización de los tratamientos.

5.4. Arrancado de portainjerto (patrón) en el almácigo de suelo

-Los tocones (esquejes) ubicados en el almácigo de suelo se obtuvieron tal y como se realiza en Finca Mixpillá, las plantas de IAN 873 fueron arrancadas manualmente del suelo.

-A cada planta patrón con una tijera de poda previamente desinfectada en una solución de cloro al 5%, se cortó la raíz a partir de 15 cm de longitud por debajo del cuello de la planta eliminándose todas las raíces (pivotante y secundarias). (Ver figura 9).

-En los 15 cm de longitud de raíz que se dejó en cada tocón, se eliminaron todas las raíces secundarias únicamente dejando la raíz pivotante. (Ver figura 9).

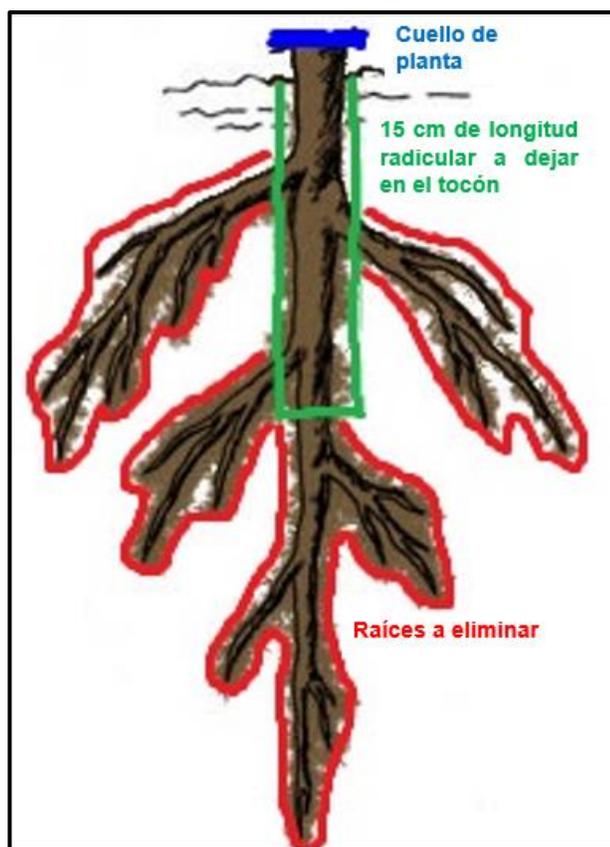


Figura 9. Segmento de raíz en los tocones.

-De igual manera con una tijera de poda se realizó el despatronado en diagonal (45°) a partir de 15 centímetros por encima del nivel del suelo en el que se encontraban sembrados los tocones.

5.5. Lectura de datos iniciales (variables de respuesta)

-Previo a la siembra de tocones y a la aplicación de los tratamientos; se procedió a la lectura inicial de cada una de las variables de respuesta para posteriormente conocer el efecto en el diámetro de tocón, crecimiento radicular, volumen de raíces y biomasa radicular, el procedimiento de las lecturas se describe a continuación:

5.5.1. Aumento de diámetro de tocón

Con el uso de un vernier se midió el grosor y/o diámetro inicial de los patrones a 5 cm por encima del cuello de los tocones.

5.5.2. Crecimiento radicular

Para esta variable; en un principio la lectura inicial fue de cero centímetros de longitud de raíces secundarias puesto que estas fueron eliminadas en cada tocón.

5.5.3. Aumento de volumen radicular

Por medio del método de volumen conocido (método de la probeta), se sumergió la raíz de cada tocón (en este caso fue la raíz pivotante) en un volumen conocido de agua (900 ml) dentro de una probeta de 1000 ml.

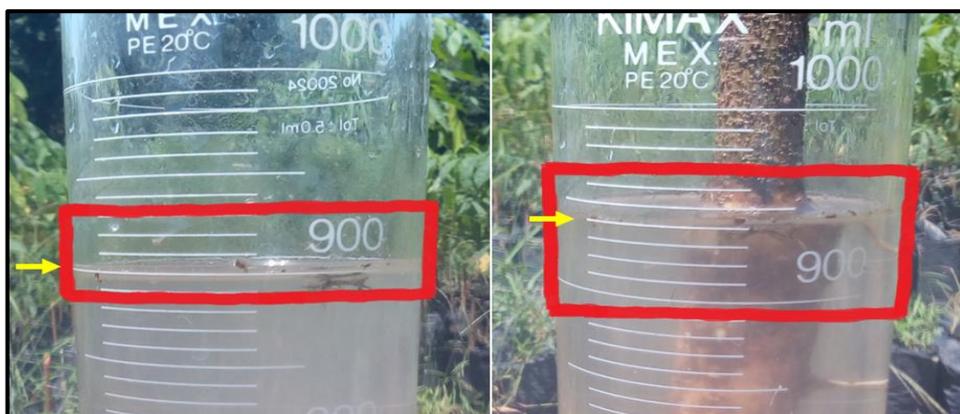


Figura 10. Volumen inicial de agua en la probeta/medición del volumen inicial de la raíz de los tocones.

Lo anterior se realizó para conocer el volumen en centímetros cúbicos que ocupa la raíz de cada tocón, esto mediante el desplazamiento del nivel del agua dentro de la probeta.

5.5.4. Biomasa radicular

No se consideró ninguna lectura inicial (previo a la aplicación de tratamientos) puesto que fue necesario esperar hasta después de las aplicaciones de los productos para poder tomar lectura del peso seco de las raíces (pivotante y secundarias).

5.6. Siembra de tocones

-Antes de sembrar los tocones a las bolsas, el suelo fue regado con tres litros de agua/bolsa proveniente del riachuelo que divide el almácigo.

-Se realizó la siembra de tocones a bolsa, para ello se introdujo una estaca en el suelo (sustrato) con la intención de que la profundidad del agujero fuese igual a los 15 cm de longitud de la raíz pivotante del tocón.

-Finalmente, se introdujo el tocón dentro del agujero del suelo de la bolsa, tratando de dejar el cuello de la planta a nivel del suelo, el cual fue compactado con las manos y la estaca.



Figura 11. Siembra de tocones a bolsas de polietileno.

5.7. Manejo de experimento

5.7.1. Riego

-Haciendo uso de un recipiente de un litro de capacidad se procedió a aplicarle riego a todos los tocones en estudio, suministrando dos litros de agua/planta en un intervalo de tiempo de cada cuatro días.

5.7.2. Control de maleza

-El control de malezas se realizó manualmente cada 15 días.

5.7.3. Meteorología en el tiempo de estudio

-Con base a los registros climáticos de Finca Mixpillá se procedió a calcular el promedio de temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa de cada mes, con objeto de conocer el comportamiento de estos parámetros durante el tiempo de estudio; de julio a septiembre (90 días).

6. Preparación y aplicación de tratamientos

6.1. Canela en polvo (*Cinnamomum zeylanicum*)

-Para la **primera aplicación** de los tres tratamientos con canela (T1, T2 y T3); en una cubeta de 15 litros de capacidad, se preparó una solución líquida de canela en agua.

-A la cubeta se le vertió 11 litros de agua y posteriormente se le agregó 66 gramos de canela en polvo (6 gramos canela/litro de agua), se disolvieron los ingredientes hasta homogeneizar la solución.

-La primera aplicación se realizó al momento del trasplante (mdt) del patrón de suelo a bolsa de almácigo; sumergiendo el segmento de raíz pivotante (15 cm) de los 90 tocones de IAN 873 en la solución de canela, durante el lapso de tiempo de 1 minuto.

-En la **segunda aplicación** para los tratamientos T2 y T3, en dos cubetas de 15 litros de capacidad cada una, se preparó una solución de canela en agua, a cada cubeta se le vertió 15 litros de agua y posteriormente se le agregaron 90 gramos de canela en polvo, se disolvieron los ingredientes de cada cubeta hasta homogeneizar la solución de cada una de estas.

-La dosificación de canela/planta fue la misma que Torres, C. (2014) efectuó en la evaluación de enraizadores orgánicos en esquejes de *Physalis peruviana L.*, siendo de 3 gramos por estaca, para dosificar correctamente tal cantidad; por medio de una regla de tres simple se determinó aplicar en diluido $\frac{1}{2}$ litro de solución por cada tocón.

-Para lo anterior; con una probeta de 1000 ml se vertió 500 ml ($\frac{1}{2}$ litro) de agua en un recipiente de gaseosa (1.5 litros), con un marcador se marcó el nivel del agua en la botella y con una tijera se cortó el recipiente al ras de la marca para obtener una medida calibrada de $\frac{1}{2}$ litro de solución de canela a aplicar por cada tocón.



Figura 12. Preparación y aplicación de canela.

-En la **tercera aplicación** del tratamiento T3, en una cubeta de 15 litros de volumen se agregó 15 litros de agua con 90 gramos de canela y se disolvieron los ingredientes, con la ayuda del recipiente de 500 ml se dosificó $\frac{1}{2}$ litro de solución de canela por cada tocón.

-En cada una de las tres aplicaciones la concentración de canela fue de 6000 ppm.

6.2. Maxiboost

-En la **primera aplicación** de los tratamientos (T4, T5 y T6) de la solución de maxiboost se realizó lo recomendado por la casa comercial DISAGRO preparando una mezcla a razón de 1000 cc de producto comercial en 200 litros de agua.

-En una cubeta de 15 litros de volumen se agregaron 11 litros de agua con 55 cc de maxiboost, seguidamente se disolvieron los ingredientes. Al momento del trasplante de los tocones, a estos se les sumergió el sistema radicular (raíz pivotante) en la solución de maxiboost durante 1 minuto.

-Para la **segunda aplicación** en este caso de los tratamientos T5 y T6, en una cubeta de 15 litros se mezclaron 7.6 litros de agua con 38 cc de maxiboost.

-Sabido que 201,000 cc de solución contiene 1000 cc de producto; por medio de una regla de tres se calculó cuanto de solución se tuvo que aplicar para dosificar los 0.62 cc de maxiboost, resultó ser 125 cc de mezcla diluida para suministrar la dosis de 0.62 cc de maxiboost por cada tocón.

-Para lo anterior, con uso de una probeta de 100 ml se vertieron 125 cc de agua en un vaso plástico transparente y con un marcador se delimitó el nivel del agua, con tijera se cortó el vaso al ras de la marca para obtener una medida volumétrica calibrada de solución a aplicar por tocón.

-En la **tercera aplicación** del tratamiento T6, en una cubeta de 15 litros de capacidad se agregó 3.73 litros de agua con 19 cc de maxiboost, seguidamente se mezclaron los ingredientes.

-Al igual que en la segunda aplicación con el uso de la medida volumétrica de solución calibrada (125 cc) se procedió a aplicar diluidamente la cantidad respectiva de solución maxiboost en los tocones.



Figura 13. Preparación y aplicación de maxiboost.

-En cada una de las tres aplicaciones realizadas la concentración de algas *Ascophyllum nodosum* fue de 1677 ppm, es decir 62.9 ppm de auxinas, 62.9 ppm de giberelinas y 62.9 ppm de citoquininas por aplicación.

6.3. Raizal 400

-Para los tratamientos T7, T8 y T9 en la **primera aplicación** se preparó la solución de raizal recomendada por SEMIAGRO, disolviendo 1000 gramos de producto en 200 litros de agua dando un volumen total de solución de 200,000 cc.

-Se vertió 11 litros de agua en una cubeta de 15 litros de capacidad, agregando 55 gramos de raizal para posteriormente disolver este en el agua. Por 1 minuto se sumergió el sistema radicular de los tocones en la solución de raizal, esto al momento del trasplante de las plantas a bolsa.

-Sucesivamente para la **segunda aplicación** de los tratamientos T8 y T9, se mezclaron en una cubeta de 15 litros de volumen; 38 gramos de raizal en 7.5 litros de agua.

-Realizando una regla de tres simple se calculó la cantidad de solución aplicada para dosificar los 0.63 gramos de producto por cada tocón, considerando que 200,000 cc de solución contiene 1000 gramos de raizal. Con base a lo anterior resultó aplicar 126 cc de solución diluida para suministrar los 0.63 gramos de raizal/tocón.

-Para obtener la medida volumétrica de los 126 cc de solución aplicados por tocón; con uso de una probeta de 100 ml se vertieron 126 ml de agua en un vaso plástico transparente y con marcador se marcó el nivel del agua, después con una tijera se cortó el vaso al ras de la marca hasta tener la medida aplicada de solución de raizal.



Figura 14. Preparación y aplicación de raizal 400.

-Para la **tercera aplicación** específicamente del tratamiento T9, en una cubeta de 15 litros se disolvieron 19 gramos de raizal en 3.78 litros de agua para luego mezclar ambos componentes de la solución.

-Al igual que en la segunda aplicación haciendo uso de la medida volumétrica de solución (126 cc) se procedió a aplicar en diluido la solución de raizal a los tocones de IAN 873.

-Para cada una de las tres aplicaciones realizadas, la concentración de raizal fue de 5000 ppm, es decir 2 ppm de fitohormonas (citoquininas) por aplicación.

6.4. IBA 98 SP

-La **primera aplicación** de este producto en los tratamientos (T10, T11 y T12) se preparó mezclando la cantidad de agua, alcohol e IBA 98 SP recomendados por MARKETING ARM INTERNATIONAL, siendo 5 gramos de IBA 98 y 200 cc de alcohol al 95% en 800 cc de agua para preparar cada litro de solución.

-En una cubeta de 15 litros de volumen se agregaron 8.8 litros de agua, 2.2 litros de alcohol y 55 gramos de IBA 98 SP. Es de enfatizar que primero se diluyeron los gramos de IBA 98 en el alcohol, para después verterlos en el agua mezclando los tres componentes de la solución enraizadora. Previo al trasplante de las plantas a bolsa, la raíz pivotante de los tocones se sumergió durante 1 minuto en la solución de IBA 98 SP.



Figura 15. Preparación de IBA 98 SP.

-En la **segunda aplicación** para los tratamientos T11 y T12, en la misma cubeta de 15 litros se disolvieron 15 gramos de IBA 98 en 0.6 litros de alcohol al 95% y 2.4 litros de agua, sabiendo que 1000 cc de solución contiene 5 gramos de producto; por medio de una regla de tres se calculó la cantidad de solución que tuvo que aplicarse para dosificar los 0.25 gramos de IBA 98/tocón.

-Tras efectuar dicha operación resultó aplicar 50 cc de solución en diluido para suministrar los 0.25 gramos de IBA 98, con uso de una probeta de 100 ml se vertieron 50 cc de agua en un vaso plástico transparente, con un marcador se delimitó el nivel del agua y con una tijera se obtuvo la medida precisa de los 50 cc de solución aplicados en los tocones.



Figura 16. Aplicación de IBA 98 SP.

-Para la **tercera aplicación** del tratamiento T12, siempre en una cubeta de 15 litros se mezcló 7.5 gramos de IBA 98 en 0.3 litros de alcohol y 1.2 litros de agua y con la misma medida volumétrica de 50 cc de la segunda aplicación, se procedió a aplicar diluidamente la solución de IBA 98 en sus respectivos tocones.

-En cada una de las tres aplicaciones, la concentración de producto IBA 98 SP fue de 5000 ppm, es decir 4900 ppm de ácido indol-butírico.

6.5. Testigo absoluto (sin enraizador)

-En el caso de los tratamientos testigo no se realizó aplicación de ningún producto, solo se brindó el manejo agronómico (riego y control de malezas).

6.6. Intervalo de aplicaciones

Cuadro 9. Días de aplicación de productos enraizadores.

		Días de aplicación de productos al momento y después del trasplante de tocones a bolsa		
Cantidad de aplicaciones		Día del trasplante	30 ddt	60 ddt
Tratamientos de 1 aplicación				
	1ra aplicación	30 junio-2019		
Tratamientos de 2 aplicaciones				
	1ra aplicación	30 junio-2019		
	2da aplicación		31 julio-2019	
Tratamientos de 3 aplicaciones				
	1ra aplicación	30 junio-2019		
	2da aplicación		31 julio-2019	
	3ra aplicación			31 agosto-2019

Los tratamientos de una sola aplicación se realizaron al momento del trasplante (mdt) de los tocones de suelo a la bolsa de almácigo. Respecto a los tratamientos de dos aplicaciones, la primera se hizo al momento del trasplante (mdt) y la segunda se realizó 30 días después del trasplante (ddt).

Finalmente, en los tratamientos de tres aplicaciones, las primeras dos aplicaciones se efectuaron igual que en los tratamientos del párrafo anterior, en tanto a la tercera aplicación esta se realizó 60 días después del trasplante (ddt) es decir 30 días después de la segunda aplicación.

7. Lectura de datos finales (variables respuesta)

La lectura de datos finales se realizó similarmente a la lectura de datos iniciales (diámetro y volumen), pero en este caso se describe cómo se tomó lectura de las variables longitud y biomasa radicular, tal procedimiento se detalla a continuación:

7.1. Aumento de diámetro de tocón

Treinta días después de haber efectuado la última aplicación de enraizadores (según el tratamiento) usando un vernier se midió el grosor de los tocones a 5 cm por encima del cuello del tocón, en este caso fue el diámetro final.



Figura 17. Medición de diámetro en los tocones.

Se obtuvo una diferencia entre el diámetro promedio final y el diámetro promedio inicial para cada uno de los tratamientos con el fin de conocer el aumento de diámetro en los tocones.

7.2. Crecimiento radicular

Inicialmente con uso de navaja se cortaron las bolsas plásticas, se sacaron las plantas y cuidadosamente se lavaron las raíces con uso de una manguera, al principio para esta variable se conoció la longitud inicial de las raíces secundarias de cada tocón, en ese caso había sido cero centímetros, por tanto, la longitud final representó el crecimiento radicular.

Treinta días después de realizar la última aplicación de los productos (según el tratamiento) con el uso de una regla milimetrada se midió la longitud de las raíces secundarias de cada tocón.



Figura 18. Medición de longitud de raíces en los tocones.

Con base a las longitudes de todas las raíces secundarias medidas en cada uno de los tocones de un mismo tratamiento se calculó un promedio de longitud final interpretándose esto como la media de crecimiento radicular final de determinado tratamiento.

7.3. Aumento de volumen radicular

Al finalizar las aplicaciones de enraizadores, nuevamente por el método del volumen de agua conocido, dentro de una probeta (con 900 ml de agua) se sumergió el sistema radicular (pivotante y adventicias) de los tocones para que en este caso se conociera un volumen radicular final de los mismos.

Se obtuvo una diferencia entre el volumen promedio final y el volumen promedio inicial para los tocones de cada uno de los tratamientos en todas sus repeticiones con el fin de conocer el aumento en la volumetría radicular.



Figura 19. Medición de volumen radicular en los tocones.

Después de medir el volumen de raíces de todos los tocones, estos mismos se dejaron secando al sol durante 20 minutos (ver figura 29 en anexos) para eliminar excesos de humedad y agua.

7.4. Biomasa radicular

Culminadas las lecturas de las tres variables anteriores, haciendo uso de una tijera de poda, se cortaron las raíces (pivotante y secundarias) de los tocones.

Dichas raíces se sometieron a 105 °C de temperatura dentro de un horno de convección perteneciente a Finca Santa Ana Mixpillá, durante un tiempo de 4 horas para extraerles el agua contenida en estos.



Figura 20. Raíces secadas al horno.

Finalizadas las 4 horas, se sacaron las raíces y con una balanza analítica se procedió a tomar lectura del peso (gramos) de la materia vegetal seca del sistema radicular de cada tocón interpretándose a este valor como la biomasa radicular. Para lo anterior fue necesario calcular el promedio de peso seco de las raíces de los tocones para cada tratamiento en cada repetición.

En los tratamientos de tres aplicaciones la lectura de datos finales se hizo 90 días después del trasplante (ddt) de los tocones a bolsa.

Para los tratamientos de dos aplicaciones la lectura de datos se hizo 60 días después del trasplante (ddt) de los tocones.

Y en los tratamientos de una aplicación la lectura se efectuó a los 30 ddt, en síntesis, todas las lecturas se realizaron 30 días después de la última aplicación.

Lo anterior causaría polémica en los resultados, dado que si un tratamiento de un producto "X" que se aplicó tres veces fuese mejor a un tratamiento de un producto "Y" que se aplicó dos veces, se afirmaría que fue la cantidad aplicada de producto y no el efecto en sí de estos el causante de que tal tratamiento "X" produjese mejor resultado al tratamiento "Y".

Para contrarrestar el factor cantidad, se agruparon los tratamientos en una misma cantidad de aplicación, es decir; que se realizó el análisis estadístico exclusivamente para los tratamientos de una aplicación, como para los de dos y tres aplicaciones por aparte, para saber si determinado producto "X" sería mejor que cierto producto "Y" en las diferentes cantidades de aplicación sobre los tocones para las distintas variables en estudio.

8. Análisis de varianza (ANDEVA)

Para todas las variables respuesta (aumento de diámetro, longitud, aumento de volumen y biomasa radicular) se realizó un análisis de varianza al 5% de significancia basado en un diseño experimental bloques completos al azar.

La notación adoptada para la tabulación, ordenamiento, resumen y representación de los datos colectados en campo para cada una de las variables de respuesta es dada en el siguiente cuadro:

Cuadro 10. Tabla resumen para la representación de datos de las variables de respuesta en un diseño bloques completos al azar.

Tratamientos	Repeticiones o bloques					Y _{i.}
	1	2	3	...	R	
1	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₁₃	...	Y _{1r}	Y _{1.}
2	Y ₂₁	Y ₂₂	Y ₂₃	...	Y _{2r}	Y _{2.}
3	Y ₃₁	Y ₃₂	Y ₃₃	...	Y _{3r}	Y _{3.}
.
.
T	Y _{t1}	Y _{t2}	Y _{t3}	...	Y _{tr}	Y _{t.}
Y _{.j}	Y _{.1}	Y _{.2}	Y _{.3}	...	Y _{.r}	Y _{..}

Fuente: López, A. y González B. (2014).

En los resultados del ANDEVA; si el valor de F calculado (FC) resulta ser mayor o igual al valor de F tabulado (FT) se determina que si existen diferencias significativas (*) entre los tratamientos para determinada variable de respuesta y sería necesario realizar una prueba múltiple de medias.

En caso de que F calculado (FC) sea menor a F tabulado (FT) se determinará que no existen diferencias significativas (N.S.) entre los tratamientos para cierta variable de respuesta, por tanto, no sería necesario realizar una prueba de medias.

Respecto al porcentaje de coeficiente de variación, este se determinó utilizando la siguiente formula:

$$\%CV = \frac{\sqrt{CMee}}{Y../(t \times r)} \times 100$$

Dónde:

CMee = cuadrado medio del error experimental

Y.. = total general o gran total

t = número de tratamientos

r = número de repeticiones y/o bloques

9. Prueba múltiple de medias Tukey

En el caso de las variables respuesta en las que se presentaron diferencias significativas (*) entre los tratamientos, se efectuó una comparación de medias de Tukey al 5% de significancia, para conocer estadísticamente que tratamiento fue mejor en cada variable, para ello se realizó lo que se detalla a continuación:

- a) En inicio se obtuvieron las medias de todos los tratamientos.
- b) Se construyó una matriz de diferencias entre todos los posibles pares de medias.
- c) La diferencia mínima significativa (W) a cierto nivel de significancia (α) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$W = q(t, glee, \alpha) \times \sqrt{\frac{CMee}{r}}$$

Dónde:

α = nivel de significancia

t = número de tratamientos

glee = grados de libertad del error experimental

CMee = cuadrado medio del error experimental

r = número de repeticiones y/o bloques

q = amplitud total estudentizada

Para obtener la amplitud total estudentizada (q) fue necesario hacer uso de la tabla de valores de la amplitud total estudentizada y buscar en el eje “x” el número de tratamientos (t) y en el eje “y” los grados de libertad del error experimental (gl_{ee}).

- d) En la matriz de diferencias (inciso b), se observó columna por columna si la diferencia entre las medias de los tratamientos (d_{ii}) fue mayor o igual (\geq) a la diferencia mínima significativa (W), de ser este el caso significa que existen diferencias significativas (*) entre los efectos de los pares de tratamientos, en caso de que: $d_{ii} < W$, se deduce que no hubo diferencias significativas (N.S.).
- e) Finalmente, se procedió a presentar los resultados con el objeto de conocer que tratamiento estadísticamente fue mejor en comparación a los demás.

10. Costo de aplicación por tratamiento

Para que los productores de almácigo de *H. brasiliensis* seleccionen el tratamiento que en ámbitos de calidad (según los resultados obtenidos) y costo más les favorezca utilizar, se cuantificó el costo económico de aplicación de cada uno de los tratamientos evaluados, para ello se realizó lo siguiente:

- a) Se registró la cantidad y costo de cada producto adquirido. Ver cuadro 42 en la página 84.

-Aplicación #1 para los tratamientos 1 al 12

- b) Se calculó el costo de preparación de la **aplicación #1** (inmersión de raíces) para cada producto en cada tratamiento (cuadro 43), multiplicando la cantidad de producto utilizado (gr o ml) por el precio del producto; dividido entre la cantidad de producto adquirido (gr o ml).

- c) Para obtener el costo por tratamiento se dividió el costo de las soluciones enraizadoras entre los tres tratamientos que constituyen cada uno de los productos.

-Aplicación #2 para los tratamientos T2, T3, T5, T6, T8, T9, T11 y T12

- d) En la aplicación #2 (diluida), se multiplicó la dosis de producto/planta (gr o ml) por los 30 tocones que tuvo cada tratamiento en evaluación para así obtener la cantidad de producto utilizado por tratamiento.
- e) Dicha cantidad de producto utilizado se multiplicó por el precio del producto y se dividió entre la cantidad (gr o ml) de producto adquirido, con ello obteniendo el costo de la segunda aplicación. Pero, para obtener el costo por tratamiento se sumó el costo de la primera con el de la segunda aplicación.

-Aplicación #3 para los tratamientos T3, T6, T9 y T12

- f) En la aplicación #3 (diluida) se realizó exactamente lo mismo que se indicó en la aplicación #2 solo que en esta ocasión únicamente fue para los tratamientos T3, T6, T9 y T12 para obtener el costo de la tercera aplicación. El costo por tratamiento en este caso se obtuvo sumando el costo de la primera, segunda y tercera aplicación. Ver cuadro 43 en la página 84.
- g) En Finca Santa Ana Mixpillá la tarea por persona y el pago para la aplicación de enraizadores mediante inmersión resulta ser de; 300 tocones sumergidos y sembrados a bolsa por Q 80.00, mientras que diluido son 2000 plantas aplicadas por Q 80.00.
- h) En la primera aplicación para obtener el costo de una tarea de cada tratamiento se multiplicó los 300 tocones por el costo/tratamiento/aplicación dividido entre los 30 tocones de cada tratamiento, mientras que para la segunda y tercera aplicación se multiplicó los 2000 tocones por el costo/tratamiento/aplicación dividido entre los 30 tocones, tal y como se observa en el cuadro 44.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Aumento de diámetro de tocón (milímetros)

En el cuadro 11, se presentan los resultados de la variable aumento de diámetro de tocones para los tratamientos de una aplicación en cada uno de sus bloques:

Cuadro 11. Resumen de datos del aumento de diámetro de tocón (mm) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T1	0.80	0.80	0.90	0.70	0.80	4.00	0.80
Maxiboost	T4	1.30	1.50	0.80	1.10	0.70	5.40	1.08
Raizal	T7	1.00	1.00	1.30	1.20	0.50	5.00	1.00
IBA 98 SP	T10	1.40	1.50	2.20	1.70	1.40	8.20	1.64
Testigo	T13	1.00	0.60	0.70	0.60	0.80	3.70	0.74
Suma		5.50	5.40	5.90	5.30	4.20	26.30	

Para determinar la existencia o no de diferencias significativas entre los productos se realizó el siguiente análisis de varianza al 5% de significancia:

Cuadro 122. Análisis de varianza para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de una aplicación.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	2.55	0.638	9.35*	3.01
Bloques	4	0.33			
Error Experimental	16	1.09	0.068		
Total	24	3.97			
%CV = 24.8					

El análisis de varianza demuestra que si existen diferencias significativas (*) para una aplicación entre los productos, debido a que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). Los datos del análisis propiciaron un coeficiente de variación de 24.8%.

Se acepta la hipótesis alternativa uno (Ha1) la cual establece que; al menos un tratamiento en estudio ejercerá un efecto diferente sobre la variable aumento de diámetro. Para conocer que enraizador(es) fueron estadísticamente mejores es que se realizó la prueba de medias de Tukey al 5% de significancia.

Los resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de una aplicación se presentan a continuación:

Cuadro 13. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de diámetro (mm) en los tratamientos de una aplicación.

Tratamientos		Medias (mm)	Grupo Tukey
T10	IBA 98 1 aplicación	1.64	a
T4	maxiboost 1 aplicación	1.08	b
T7	raizal 1 aplicación	1	
T1	canela 1 aplicación	0.80	
T13	testigo 1 mes	0.74	

A continuación, se presentan los resultados de la variable aumento de diámetro de tocones para los tratamientos de dos aplicaciones:

Cuadro 144. Resumen de datos del aumento de diámetro de tocón (mm) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T2	0.90	1.00	1.00	0.80	0.90	4.60	0.92
Maxiboost	T5	1.30	0.90	0.80	0.90	2.10	6.00	1.20
Raizal	T8	1.30	1.40	1.30	1.30	1.20	6.50	1.30
IBA 98 SP	T11	1.60	2.10	2.00	1.90	1.50	9.10	1.82
Testigo	T14	0.80	0.90	1.10	1.00	0.50	4.30	0.86
Suma		5.90	6.30	6.20	5.90	6.20	30.50	

En el siguiente análisis de varianza al 5% de significancia se estableció si existieron o no diferencias significativas entre los productos a dos aplicaciones:

Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de dos aplicaciones.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	2.923	0.731	7.09*	3.01
Bloques	4	0.028			
Error Experimental	16	1.662	0.104		
Total	24	4.62			
%CV = 26.4					

El previo análisis de varianza establece que si existieron diferencias significativas (*) entre los productos evaluados a dos aplicaciones, puesto que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). El coeficiente de variación obtenido es de 26.4%.

Por ende, debe aceptarse la hipótesis alternativa uno (Ha1) la cual indica que; al menos un enraizador en evaluación tendrá un efecto distinto sobre la variable aumento de diámetro de tocones.

Los resultados de la prueba de medias de Tukey para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de dos aplicaciones son los siguientes:

Cuadro 16. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de diámetro (mm) en los tratamientos de dos aplicaciones.

Tratamientos		Medias (mm)	Grupo Tukey	
T11	IBA 98 de 2 aplicaciones	1.82	a	
T5	maxiboost de 2 aplicaciones	1.3	a	b
T8	raizal de 2 aplicaciones	1.2	a	b
T2	canela de 2 aplicaciones	0.92		b
T14	testigo de 2 meses	0.86		b

Comparando estos resultados con los resultados de los tratamientos de una aplicación con un mes de efecto (cuadro 13) se observa que el producto IBA 98 de una a dos aplicaciones (de uno a dos meses de acción) el aumento del diámetro paso de 1.64 mm (T10) a 1.82 mm (T11) incrementándose 0.18 mm por tocón.

En el maxiboost de una a dos aplicaciones el aumento del diámetro fue de 0.22 mm, es decir de 1.08 mm (T4) a 1.30 mm (T5), para el raizal el aumento de diámetro paso de 1 mm (T7) a 1.20 mm (T8) existiendo un incremento de 0.20 mm por planta.

En síntesis, los tratamientos maxiboost y raizal aumentaron más el diámetro de una a dos aplicaciones (uno a dos meses de efecto) que el IBA 98, por tal razón en la cantidad de dos aplicaciones, estos tratamientos son estadísticamente iguales.

Los resultados de la variable aumento de diámetro de tocones para los tratamientos de tres aplicaciones se presentan a continuación:

Cuadro 17. Resumen de datos de aumento de diámetro de tocón (mm) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T3	1.00	1.20	1.00	1.10	1.10	5.40	1.08
Maxiboost	T6	1.30	1.20	1.40	1.70	2.00	7.60	1.52
Raizal	T9	1.40	1.50	1.20	1.30	2.20	7.60	1.52
IBA 98 SP	T12	2.20	1.90	1.90	2.60	1.50	10.10	2.02
Testigo	T15	1.30	1.20	0.80	0.70	1.40	5.40	1.08
Suma		7.20	7.00	6.30	7.40	8.20	36.10	

Se realizó el análisis de varianza al 5% de significancia para determinar la existencia o no de diferencias significativas entre los productos de tres aplicaciones, los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 18. Análisis de varianza para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de tres aplicaciones.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	3.05	0.763	6.92*	3.01
Bloques	4	0.378			
Error Experimental	16	1.762	0.110		
Total	24	5.19			
%CV = 22.9					

Los resultados afirman que sí existieron diferencias significativas (*) entre los productos evaluados a tres aplicaciones, puesto que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). El coeficiente de variación obtenido es de 22.9%.

En los resultados del ANDEVA de los tratamientos de tres aplicaciones (cuadro 18) como en los tratamientos de una y dos aplicaciones (cuadro 12 y 15), se obtuvieron altos coeficientes de variación. López y González (2014), se refieren al coeficiente de variación como la medida relativa de variación que no es posible controlar en el experimento.

López y González (2014), establecen que los altos coeficientes de variación no necesariamente son producidos por experimentos mal manejados, sino también por los tipos de tratamientos como también al tipo de variable de respuesta. En este caso fue la dimensional (milímetros) con la que se midió la variable respuesta la responsable de generar los altos coeficientes de variación, dado que con el vernier se tuvo margen de error para medir con precisión la diferencia milimétrica del grosor de los tocones.

De acuerdo al análisis debe aceptarse la hipótesis alternativa uno (H_{a1}) la cual indica que; al menos un enraizador en evaluación ejercerá efecto diferente sobre la variable aumento de diámetro. Como consecuencia, se realizó la prueba de medias de Tukey al 5% de significancia para conocer que enraizadores produjeron los mejores efectos. Los resultados de la prueba de medias Tukey para la variable aumento de diámetro de tocones en los tratamientos de tres aplicaciones son los siguientes:

Cuadro 19. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de diámetro (mm) en los tratamientos de tres aplicaciones.

Tratamientos		Medias (mm)	Grupo Tukey	
T12	IBA 98 de 3 aplicaciones	2.02	a	
T6	maxiboost de 3 aplicaciones	1.52	a	b
T9	raizal de 3 aplicaciones	1.51	a	b
T3	canela de 3 aplicaciones	1.08		b
T15	testigo de 3 meses	1.08		b

Según Agriculturers (2017), la auxina en la planta estimula el crecimiento de la parte inferior del tallo. Acorde a Lorente (1997) citado por Correa y Vásquez (2013), la auxina al ejercer su actividad de división celular provoca en la base de los esquejes una hinchazón producida por la rápida división de las células del parénquima; así también Weaver (1985) citado por Zavala (2018), afirma que las auxinas incrementan la flexibilidad de las paredes celulares perdiéndose la presión de turgencia lo cual provoca que el agua ingrese en la célula y de esta manera la misma se expanda.

Lo antes descrito da a entender por qué en las tres distintas cantidades de aplicación de enraizadores (ver cuadro 13, 16 y 19) la mayor media de aumento de diámetro siempre la propició el tratamiento en el que se aplicó el producto con auxina sintética; IBA 98 SP (ácido indol-butírico).

Los resultados de tres aplicaciones al compararse con los de dos aplicaciones (cuadro 16) evidencian que; para el caso del producto IBA 98 de una segunda a una tercera aplicación (de dos a tres meses de efecto) el aumento de diámetro pasó de 1.82 mm (T11) a 2.02 mm (T12) existiendo una diferencia de 0.20 mm aumentados por tocón. Para el maxiboost la diferencia de aumento de diámetro de una segunda a una tercera aplicación fue de 0.22 mm, es decir de 1.30 mm (T5) a 1.52 mm (T6), en tanto al raizal el aumento en la dimetría paso de 1.20 mm (T8) a 1.51 mm (T9) siendo una diferencia de 0.31 mm por tocón.

En resumen, al igual que en los resultados de dos aplicaciones también en los de tres aplicaciones tanto el tratamiento maxiboost como el tratamiento raizal aumentaron más el diámetro de dos a tres aplicaciones (de dos a tres meses de efecto) en comparación al IBA 98, revalidándose por que en la cantidad de tres aplicaciones estos tratamientos son estadísticamente iguales.

Los aumentos de diámetro de tocones obtenidos después de la primera (30 días) y después de la tercera aplicación (90 días) de los productos, se comparan en la siguiente gráfica:

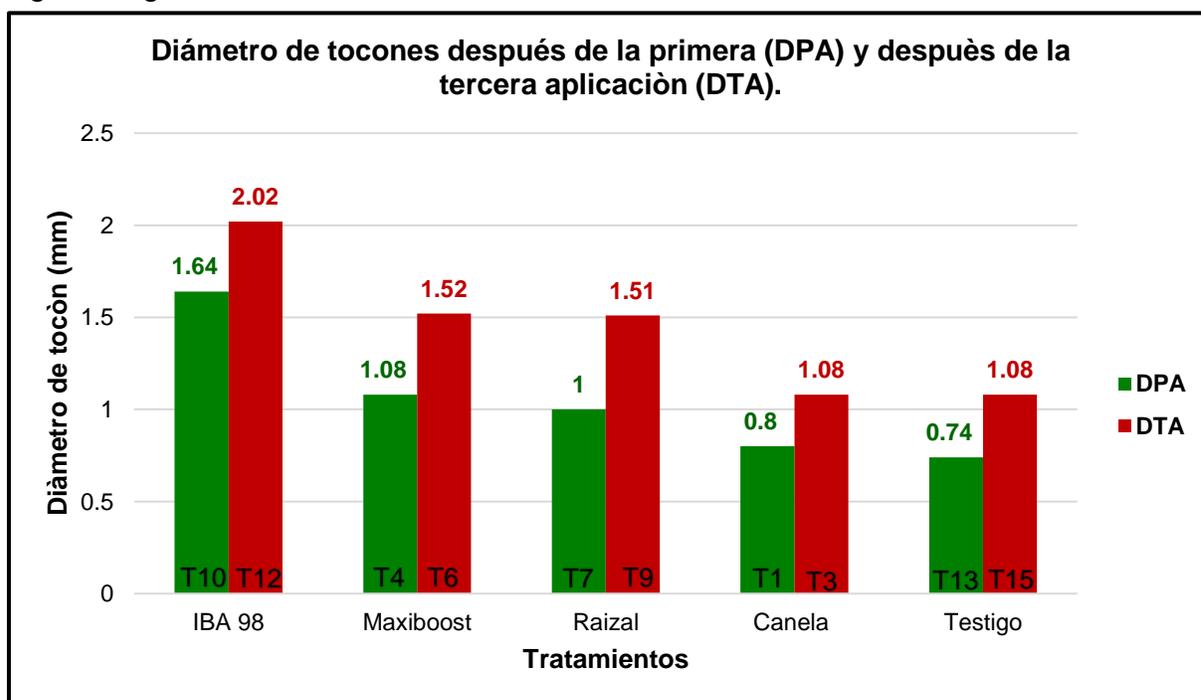


Figura 21. Aumento de diámetro (mm) de tocones después de la primera (DPA) y después de la tercera aplicación (DTA).

Los datos de color verde representan el aumento de diámetro en los tocones generados por los productos después de la primera aplicación (DPA), mientras que los datos de color rojo son el aumento de diámetro obtenidos por los tratamientos después de la tercera aplicación (DTA).

Al comparar y obtener diferencia de los datos de la primera con los de la tercera aplicación para un mismo producto se evidencia que; la menor diferencia fue producida por la canela con 0.28 mm de aumento de diámetro entre la primera (T1) y tercera aplicación (T3).

Respecto al IBA 98 que en principio produjo el valor más alto con 1.64 mm, su efecto fue decayendo dado que la diferencia entre el aumento de la primera (T10) y tercera aplicación (T12) es de 0.38 mm. Mientras que la mayor diferencia pertenece al Raizal con 0.51 mm aumentados entre la primera (T7) y última aplicación (T9), por lo que podría considerarse que tal producto es de prolongado efecto.

2. Longitud radicular (centímetros)

A continuación, se presentan los resultados de la variable longitud de raíces en tocones para los tratamientos de una aplicación en cada una de sus repeticiones:

Cuadro 20. Resumen de datos de la longitud de raíces en centímetros (cm) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T1	4.0	3.5	3.5	4.0	3.5	18.5	3.7
Maxiboost	T4	7.5	6.0	7.0	7.5	6.0	34.0	6.8
Raizal	T7	7.0	8.0	8.0	7.5	7.5	38.0	7.6
IBA 98 SP	T10	12.0	11.5	12.0	12.0	11.0	58.5	11.7
Testigo	T13	7.0	7.5	9.5	9.0	7.5	40.5	8.1
Suma		37.5	36.5	40.0	40.0	35.5	189.5	

Se efectuó el siguiente análisis de varianza al 5% de significancia para determinar si existen diferencias significativas entre los productos evaluados a una aplicación:

Cuadro 21. Análisis de varianza para la longitud de raíces en los tratamientos de una aplicación.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	164.54	41.135	120.54*	3.01
Bloques	4	3.34			
Error Experimental	16	5.46	0.341		
Total	24	173.34			
%CV = 7.70					

Los resultados del análisis de varianza evidencian que si existen diferencias significativas (*) entre los productos a una aplicación, puesto que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). El coeficiente de variación obtenido fue de 7.70%.

De acuerdo al análisis se acepta la hipótesis alternativa uno (Ha1) la cual establece que; al menos un tratamiento en estudio ejercerá un efecto diferente sobre la variable longitud de raíces. Por tal razón se realizó la prueba de medias de Tukey al 5% de significancia para determinar que enraizador(es) fueron los mejores estadísticamente.

Los resultados de la prueba de medias de Tukey de la longitud de raíces para los tratamientos de una aplicación son los siguientes:

Cuadro 22. Resultados de la prueba de Tukey para la variable longitud de raíces (cm) en los tratamientos de una aplicación.

Tratamientos		Medias (cm)	Grupo Tukey		
T10	IBA 98 de 1 aplicación	11.7	a		
T13	testigo de 1 mes	8.1		b	
T7	raizal de 1 aplicación	7.6			
T4	maxiboost de 1 aplicación	6.8			
T1	canela de una aplicación	3.7			c

A continuación, se presentan los resultados de la variable longitud de raíces para los tratamientos de dos aplicaciones:

Cuadro 23. Resumen de datos de la longitud de raíces en centímetros (cm) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T2	12.0	10.0	11.0	11.5	9.0	53.5	10.7
Maxiboost	T5	14.0	13.0	14.0	15.0	16.0	72.0	14.4
Raizal	T8	11.0	11.0	11.5	12.0	11.0	56.5	11.3
IBA 98 SP	T11	13.0	14.0	12.5	14.5	14.5	68.5	13.7
Testigo	T14	15.0	14.0	12.5	15.0	12.0	68.5	13.7
Suma		65.0	62.0	61.5	68.0	62.5	319.0	

De acuerdo al siguiente análisis de varianza al 5% de significancia se determinó la existencia o no de diferencias significativas entre los tratamientos de dos aplicaciones:

Cuadro 24. Análisis de varianza para la variable longitud de raíces en los tratamientos de dos aplicaciones.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	54.16	13.540	12.71*	3.01
Bloques	4	5.86			
Error Experimental	16	17.04	1.065		
Total	24	77.06			
%CV = 8.09					

El análisis de varianza determina que si existen diferencias significativas (*) entre los productos evaluados a dos aplicaciones, puesto que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). El coeficiente de variación es de 8.09%. Por ende, es válido aceptar la hipótesis alternativa uno (Ha1) la cual afirma que; al menos un enraizador en evaluación propiciará un efecto diferente sobre la variable longitud radicular.

Los resultados de la prueba de medias para la longitud de raíces en los tratamientos de dos aplicaciones son los siguientes:

Cuadro 25. Resultados de la prueba de Tukey para la variable longitud de raíces (cm) en los tratamientos de dos aplicaciones.

Tratamientos		Medias (cm)	Grupo Tukey	
T5	maxiboost de 2 aplicaciones	14.4	a	
T11	IBA 98 de 2 aplicaciones	13.7		
T14	testigo de 2 meses	13.7		
T8	raizal de 2 aplicaciones	11.3	b	
T2	canela de 2 aplicaciones	10.7		

Las longitudes radiculares en los tocones para los tratamientos de una (30 días) y dos aplicaciones (60 días) se comparan en la siguiente gráfica:

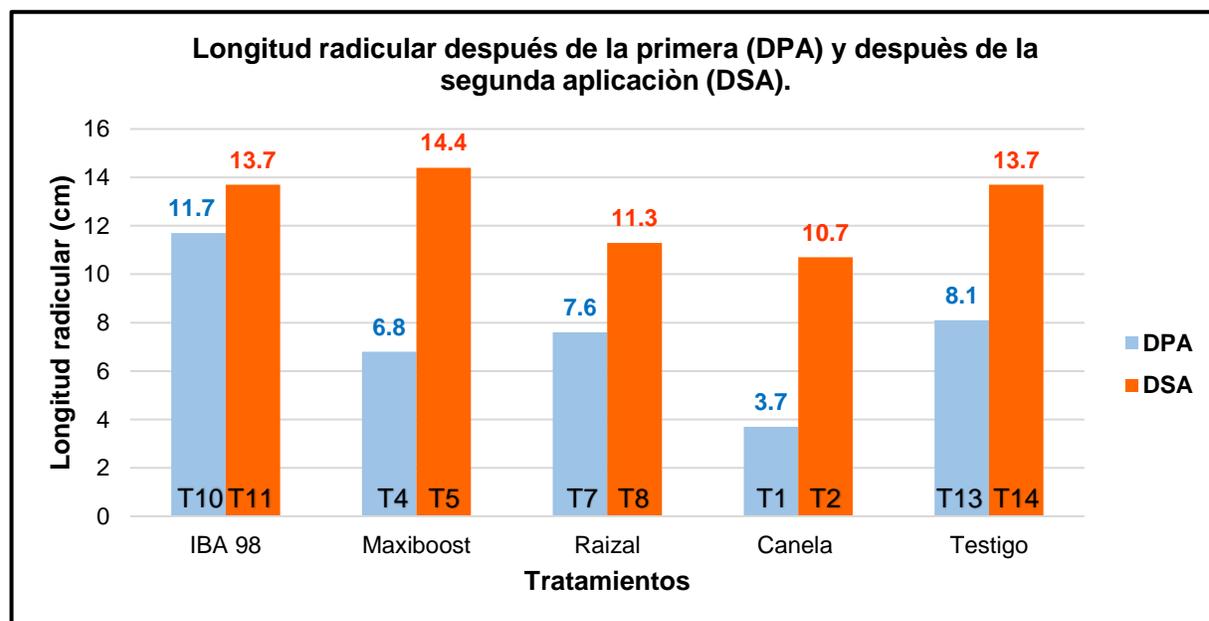


Figura 22. Longitud radicular (cm) de tocones después de la primera (DPA) y después de la segunda aplicación (DSA).

Al comparar tales resultados, se aprecia que en el caso del producto IBA 98 de una primera a una segunda aplicación la longitud radicular pasó de 11.7 cm (T10) a 13.7 cm (T11) existiendo un incremento de longitud de raíces de 2 cm por tocón.

Respecto al maxiboost de una a dos aplicaciones el aumento de la longitud radicular fue de 7.6 cm, es decir de 6.8 cm (T4) a 14.4 cm (T5), mientras que en el tratamiento testigo de una a dos aplicaciones la media de largo radicular paso de 8.1 cm (T13) a 13.7 cm (T14) existiendo un aumento de 5.6 cm.

Lo anterior demuestra que; los tratamientos maxiboost y testigo incrementaron más el largo de raíces en los tocones de una a dos aplicaciones (de uno a dos meses de efecto) en comparación al tratamiento con IBA 98, entendiéndose porque en la cantidad de dos aplicaciones estos tres tratamientos son estadísticamente semejantes.

Los resultados de la variable longitud de raíces para los tratamientos de tres aplicaciones se presentan a continuación:

Cuadro 26. Resumen de datos de la longitud de raíces en centímetros (cm) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T3	16.0	15.0	17.0	16.0	17.5	81.5	16.3
Maxiboost	T6	15.0	18.0	17.0	16.0	17.0	83.0	16.6
Raizal	T9	12.5	13.5	14.0	11.5	14.0	65.5	13.1
IBA 98 SP	T12	17.0	15.0	13.0	15.0	13.0	73.0	14.6
Testigo	T15	18.0	17.0	16.0	15.0	19.0	85.0	17.0
Suma		78.5	78.5	77.0	73.5	80.5	388.0	

Consecutivamente se realizó el análisis de varianza al 5% de significancia para demostrar la existencia o no de diferencias significativas entre los productos de tres aplicaciones, los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 27. Análisis de varianza para la longitud de raíces en los tratamientos de tres aplicaciones.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	53.34	13.335	7.24*	3.01
Bloques	4	5.4			
Error Experimental	16	29.46	1.841		
Total	24	88.24			
%CV = 8.74					

En el anterior análisis se afirma que si existieron diferencias significativas (*) entre los productos evaluados a tres aplicaciones, debido a que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). Los resultados del análisis permitieron obtener un coeficiente de variación igual al 8.74%.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis alternativa uno (Ha1) la cual establece que; al menos un tratamiento en estudio tendrá un efecto distinto sobre la longitud de raíces. Entonces para conocer que producto(s) brindaron mejores resultados fue que se realizó la prueba de medias de Tukey al 5% de significancia.

Los resultados de la prueba de medias Tukey para la variable longitud de raíces en los tratamientos de tres aplicaciones son los siguientes:

Cuadro 28. Resultados de la prueba de Tukey para la variable longitud de raíces (cm) en los tratamientos de tres aplicaciones.

Tratamientos		Medias (cm)	Grupo Tukey	
T15	testigo de 3 meses	17	a	
T6	maxiboost de 3 aplicaciones	16.6		
T3	canela de 3 aplicaciones	16.3		
T12	IBA 98 de 3 aplicaciones	14.6	b	
T9	raizal de 3 aplicaciones	13.1		

Las longitudes radiculares en los tocones para los tratamientos de dos aplicaciones (60 días) como también para los de tres aplicaciones (90 días) se comparan en la siguiente gráfica:

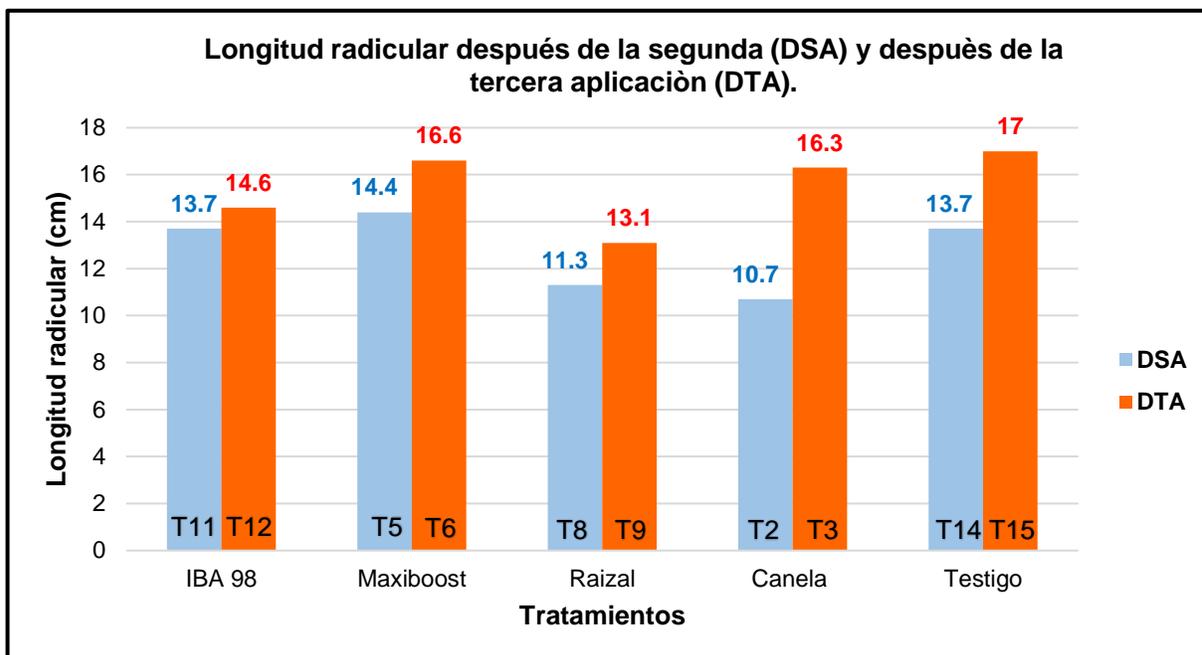


Figura 23. Longitud radicular (cm) de tocones después de la segunda (DSA) y después de la tercera aplicación (DTA).

Los resultados de los tratamientos de tres aplicaciones al compararse con los de dos aplicaciones (Figura 23) manifiestan que; en el producto IBA 98 de una segunda aplicación a una tercera las raíces aumentaron su longitud en 0.9 cm en promedio, es decir; de 13.7 cm (T11) a 14.6 cm (T12).

Con un mayor aumento de longitud radicular se tiene al tratamiento canela que tras dos aplicaciones cada tocón poseía una media de 10.7 cm (T2) de largo de raíces, pero en tres aplicaciones la longitud radicular promedio paso a ser de 16.3 cm (T3), aumentándose el largo de raíces en 5.6 cm. Esto explica porque en la cantidad de tres aplicaciones con tres meses de efecto el tratamiento canela (T3) desplazó del grupo “a” de Tukey al tratamiento IBA 98 (T12).

Referente al producto Raizal 400, es de mencionar que en la primera aplicación (inmersión) de acuerdo a las relaciones de mezcla y cantidades a aplicar recomendadas, el Raizal estuvo a una concentración de 2270 ppm de fósforo y 2 ppm de citoquininas, mientras que en la segunda y tercera aplicación (drench) a cada tocón se le dosificó 286 mg de fósforo y 0.25 mg de citoquininas.

De acuerdo a Inpofos (2006) citado por Martínez (2016), la síntesis de carbohidratos en la planta requiere previamente de la energía proporcionada por el ATP cuya estructura molecular está compuesta de fósforo, así mismo Inpofos establece que el crecimiento de las raíces es debido en parte por los carbohidratos contenidos en las plantas, en otras palabras la presencia de fósforo disponible que pasa a formar parte del ATP más los carbohidratos generados son indispensables para la formación de células nuevas en las raíces mediante el proceso de mitosis.

Basado a lo antes descrito, es de afirmar que los datos obtenidos del Raizal derivan del efecto sinérgico de todos sus componentes, esencialmente del contenido de fósforo (45 % p/p, ver página 10), el cual pudo ser fundamental en la síntesis de carbohidratos siendo estos útiles para el proceso de mitosis radicular. Sin obviar que, de acuerdo a Roca, et al., (1991) citado por Zavala (2018), las citoquininas inhiben el desarrollo de raíces laterales siendo su función principal retardar el envejecimiento de órganos y romper la latencia de yemas axilares, esto explica el porqué de su baja concentración en el producto (400 ppm).

Pese a que los tratamientos con Raizal no presentaron los mejores resultados en longitud de raíces, lo antes descrito da a entender porque al menos presentaron resultados comparables a otros productos, en los tratamientos de una aplicación (cuadro 22), el Raizal fue estadísticamente igual que el Maxiboost, mientras que en los de tres aplicaciones (cuadro 28) produjo una longitud comparable al IBA 98 SP.

Así mismo, aunque los tratamientos testigo y tratamientos con canela no contienen fitohormonas ni fósforo disponible, produjeron medias de longitudes radiculares comparables a los demás tratamientos que si contienen estos ingredientes, la razón de lo anterior se debe a que los tocones de los tratamientos con canela y testigo produjeron poca cantidad de raíces (ver figura 36 y 40 de anexos), por ello las reservas nutricionales y el contenido hormonal interno de los tocones se concentraron y ejercieron efecto en esas pocas raíces provocando que estas alcanzaran altas longitudes (ver figura 31 y 35 de anexos), caso contrario por ejemplo en los tocones de los tratamientos con IBA 98 en los cuales el efecto del producto se distribuyó en un mayor número de raíces (ver figura 39 de anexos).

3. Aumento de volumen radicular (centímetros cúbicos)

A continuación, se presentan los resultados de la variable aumento de volumen de raíces para los tratamientos de una aplicación en cada una de sus repeticiones:

Cuadro 29. Resumen de datos del aumento de volumen de raíces (cm³) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T1	5.0	3.0	3.0	3.0	4.0	18.0	3.6
Maxiboost	T4	7.0	9.0	7.0	9.0	6.0	38.0	7.6
Raizal	T7	9.0	8.0	6.0	9.0	6.0	38.0	7.6
IBA 98 SP	T10	16.0	17.0	24.0	12.0	10.0	79.0	15.8
Testigo	T13	3.0	3.0	5.0	4.0	3.0	18.0	3.6
Suma		40.0	40.0	45.0	37.0	29.0	191.0	

Con el fin de conocer la existencia o no de diferencias significativas entre los productos fue que se realizó el siguiente análisis de varianza 5% de significancia:

Cuadro 30. Análisis de varianza para la variable aumento de volumen de raíces en los tratamientos de una aplicación.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	496.16	124.040	17.70*	3.01
Bloques	4	27.76			
Error Experimental	16	111.84	6.990		
Total	24	635.76			
%CV = 34.6					

El análisis evidencia que si existen diferencias significativas (*) entre los productos para una aplicación, debido a que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). El coeficiente de variación obtenido es de 34.6%.

Se acepta la hipótesis alternativa uno (Ha1) la cual establece que; al menos un enraizador en evaluación ejercerá efecto diferente sobre la variable aumento de volumen de raíces. Para conocer que enraizador(es) fueron estadísticamente mejores es que se realizó la prueba de medias de Tukey al 5% de significancia.

Los resultados de la prueba de medias Tukey para la variable aumento de volumen de raíces de los tratamientos de una aplicación se presentan a continuación:

Cuadro 31. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de volumen radicular (cm³) en tratamientos de una aplicación.

Tratamientos		Medias (cm ³)	Grupo Tukey	
T10	IBA 98 de 1 aplicación	15.8	a	
T7	raizal de 1 aplicación	7.6		b
T4	maxiboost de 1 aplicación	7.6		
T1	canela de 1 aplicación	3.6		
T13	testigo de 1 mes	3.6		

El cuadro 32 presenta los resultados de la variable aumento de volumen de raíces para los tratamientos de dos aplicaciones:

Cuadro 32. Resumen de datos del aumento de volumen de raíces (cm³) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T2	6.0	6.0	5.0	4.0	8.0	29.0	5.8
Maxiboost	T5	11.0	6.0	8.0	8.0	12.0	45.0	9.0
Raizal	T8	10.0	8.0	8.0	9.0	11.0	46.0	9.2
IBA 98 SP	T11	16.0	17.0	15.0	16.0	16.0	80.0	16.0
Testigo	T14	4.0	7.0	6.0	4.0	7.0	28.0	5.6
Suma		47.0	44.0	42.0	41.0	54.0	228.0	

Con base al siguiente análisis de varianza al 5% de significancia se determinó la existencia o no de diferencias significativas entre los tratamientos de dos aplicaciones:

Cuadro 33. Análisis de varianza para la variable aumento de volumen de raíces en los tratamientos de dos aplicaciones.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	353.84	88.460	48.90*	3.01
Bloques	4	21.84			
Error Experimental	16	28.96	1.810		
Total	24	404.64			
%CV = 14.7					

El análisis de varianza establece la existencia de diferencias significativas (*) entre los productos evaluados a dos aplicaciones, dado que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT), el coeficiente de variación obtenido es de 14.7%. Con lo antes descrito es correcto aceptar la hipótesis alternativa uno (Ha1); al menos un tratamiento en estudio tendrá un efecto diferente sobre la variable aumento de volumen radicular.

Los resultados de la prueba de medias Tukey para la variable aumento de volumen de raíces en los tratamientos de dos aplicaciones son los siguientes:

Cuadro 34. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de volumen radicular (cm³) en tratamientos de dos aplicaciones.

Tratamientos		Medias (cm ³)	Grupo Tukey		
T11	IBA 98 de 2 aplicaciones	16	a		
T8	raizal 2 de aplicaciones	9.2		b	
T5	maxiboost de 2 aplicaciones	9			
T2	canela de 2 aplicaciones	5.8			c
T14	testigo de 2 meses	5.6			

Los aumentos de volumen radicular en los tocones para los tratamientos de una (30 días) y dos aplicaciones (60 días) se comparan en la siguiente gráfica:

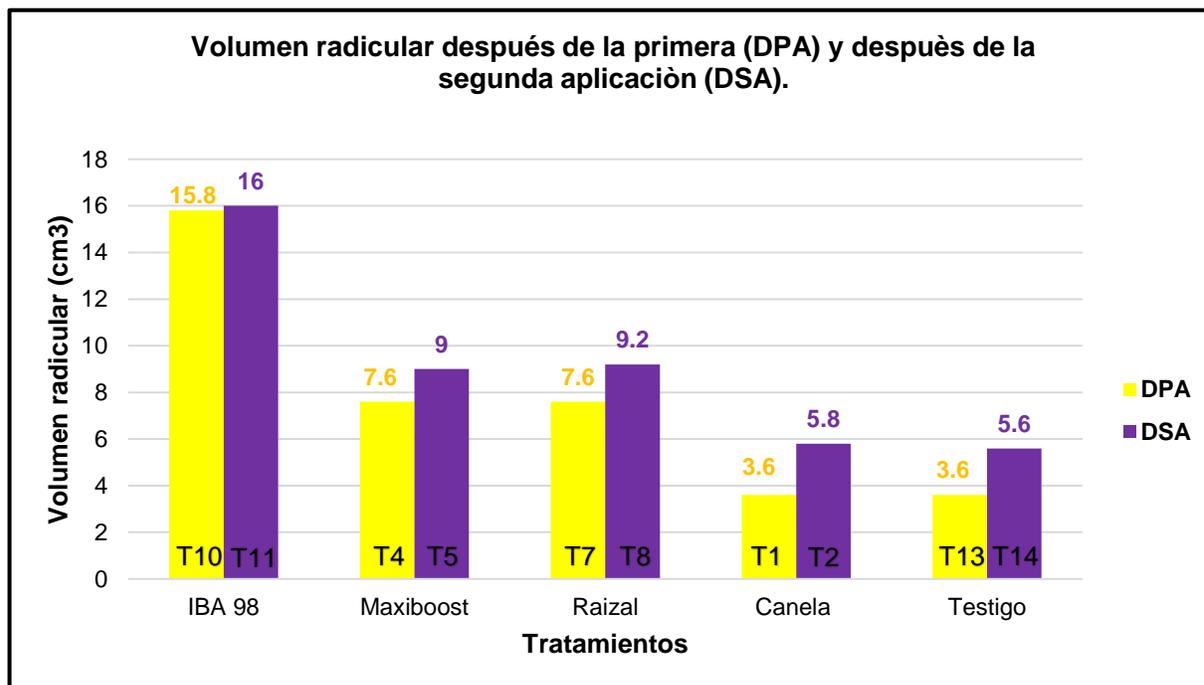


Figura 24. Volumen radicular (cm³) de tocones después de la primera (DPA) y después de la segunda aplicación (DSA).

Comparando los datos de la gráfica anterior se evidencia que no hubo mayor diferencia de efecto para el IBA 98, dado que tras la primera aplicación el volumen radicular fue de 15.8 cm³ (T10), pero tras la segunda aplicación paso a ser 16 cm³ (T11), existiendo la mínima diferencia de 0.2 cm³. La mayor diferencia la reportó la canela con 2.2 cm³, dado que el volumen paso ser de 3.6 (T1) a 5.8 cm³ (T2).

A continuación, se presentan los resultados de la variable aumento de volumen de raíces para los tratamientos de tres aplicaciones:

Cuadro 35. Resumen de datos del aumento de volumen de raíces (cm³) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T3	5.0	8.0	11.0	9.0	8.0	41.0	8.2
Maxiboost	T6	10.0	9.0	7.0	12.0	9.0	47.0	9.4
Raizal	T9	7.0	8.0	8.0	10.0	15.0	48.0	9.6
IBA 98 SP	T12	18.0	19.0	16.0	19.0	13.0	85.0	17.0
Testigo	T15	8.0	9.0	7.0	8.0	8.0	40.0	8.0
Suma		48.0	53.0	49.0	58.0	53.0	261.0	

Se realizó el respectivo análisis de varianza al 5% de significancia para evidenciar la existencia o no de diferencias significativas entre los productos evaluados a tres aplicaciones, los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 36. Análisis de varianza para el aumento de volumen de raíces en los tratamientos de tres aplicaciones.

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	278.96	69.740	12.58*	3.01
Bloques	4	12.56			
Error Experimental	16	88.64	5.540		
Total	24	380.16			
%CV = 22.54					

Se establece que si existieron diferencias significativas (*) entre los productos evaluados a tres aplicaciones, dado que la F calculada (FC) fue mayor a la F tabulada (FT). El coeficiente de variación igual al 22.54%. Se acepta la hipótesis alternativa uno

(Ha1) la cual establece que; al menos un enraizador en estudio ejercerá efecto diferente sobre el aumento de volumen radicular.

El alto coeficiente de variación obtenido en los tratamientos de una aplicación (cuadro 30) como también en los tratamientos de tres aplicaciones (cuadro 36) pudo deberse a que al momento de tomar los datos se introdujo las raíces del tocón en la probeta junto a una parte del tallo, pero debido a la edad de los tocones el grosor del tallo y el grosor de cada raíz pivotante fue distinto dando volúmenes con cierto sesgo.

Los resultados de la prueba de medias Tukey para la variable aumento de volumen de raíces en los tratamientos de tres aplicaciones son los siguientes:

Cuadro 37. Resultados de la prueba de Tukey para la variable aumento de volumen de raíces (cm³) en tratamientos de tres aplicaciones.

Tratamientos		Medias (cm ³)	Grupo Tukey	
T12	IBA 98 de 3 aplicaciones	17	a	
T9	raizal de 3 aplicaciones	9.6		b
T6	maxiboost de 3 aplicaciones	9.4		
T3	canela de 3 aplicaciones	8.2		
T15	testigo de 3 meses	8.05		

Los aumentos de volumen radicular en los tocones para los tratamientos de dos (60 días) y tres aplicaciones (90 días) se comparan en la siguiente gráfica:

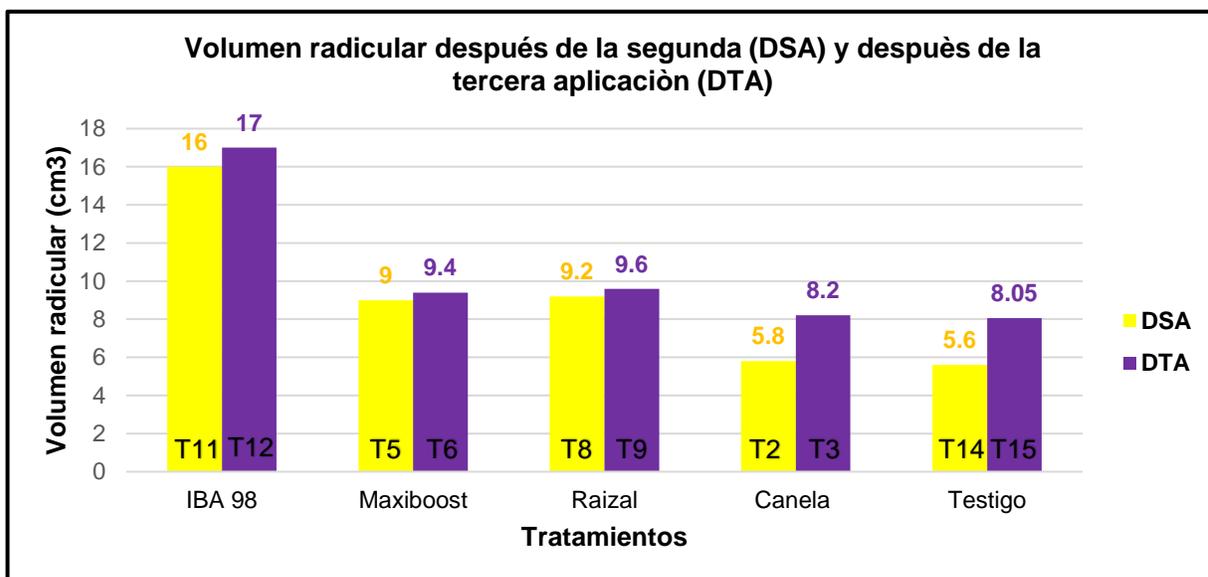


Figura 25. Volumen radicular (cm³) de tocones después de la segunda (DSA) y después de la tercera aplicación (DTA).

Al comparar los resultados de la gráfica anterior, se aprecia que en el caso del producto raizal; de dos a tres aplicaciones (de dos a tres meses de efecto) el volumen radicular cambió de 9.2 (T8) a 9.6 cm³ (T9), respecto al producto maxiboost el volumen paso de 9 (T5) a 9.4 cm³ (T6), para ambos casos el volumen aumentó en 0.40 cm³ por tocón.

Mientras que para el tratamiento con canela el aumento de volumen de una segunda a una tercera aplicación fue de 2.4 cm³, es decir de 5.8 (T2) a 8.2 cm³ (T3), y en cuanto al tratamiento testigo la volumetría de raíces pasó ser de 5.6 (T14) a 8.05 cm³ (T15) existiendo un aumento volumétrico de 2.45 cm³.

Hartmann (1998) citado por Correa y Vásquez (2013), establece que el enraizamiento de plantas de *H. brasiliensis* es dificultoso mediante su propagación por esquejes debido a la baja concentración de auxinas y su funcionalidad en la formación de primordios radiculares, en los resultados obtenidos de las distintas cantidades de aplicación (cuadro 31, 34 y 37) se observó un efecto mayormente positivo en los tratamientos que llevan auxinas (IBA 98 SP) con respecto a los tratamientos testigo, es decir los que no llevaron dicha hormona.

Comparando el tratamiento de 1 aplicación de IBA 98 (T10) que produjo 15.8 cm³ de volumen radicular con el tratamiento testigo de 1 mes (T13) que registra 3.6 cm³ se observa una diferencia volumétrica de 12.2 cm³ representando el 77% del total de volumen del tratamiento IBA 98.

El tratamiento de 2 aplicaciones de IBA 98 (T11) registró 16 cm³ de volumen es decir 10.4 cm³ más que el tratamiento testigo de 2 meses (T14) que produjo 5.6 cm³, tal diferencia representa el 65% del total de volumen del tratamiento IBA 98.

Mientras que el tratamiento de 3 aplicaciones de IBA 98 (T12) que presentó 17 cm³ de volumen comparándolo con el tratamiento testigo de 3 meses (T15) que produjo 8.05 cm³ evidencian una diferencia de 8.95 cm³ que representa el 53% del total de volumen generado por el tratamiento IBA 98.

De las tres comparaciones anteriores en promedio los tratamientos con IBA 98 produjeron 10.5 cm³ más de volumen de raíces respecto a los tratamientos testigo, por ende, se determina que los tocones en los que se aplicó auxinas es decir IBA 98 SP produjeron mayor cantidad de raíces (ver foto 39 de anexos) respecto a los tocones en los que no se aplicó dicha hormona (ver foto 40 de anexos).

Es de mencionar que en la primera aplicación (inmersión) la mezcla de IBA 98 SP estaba a una concentración de 4,900 ppm de auxinas “ácido indolbutirico”. Para la segunda y tercera aplicación (drench) la concentración fue la misma, pero, de acuerdo a la relación y cantidad de mezcla a aplicar (50 cc/tocón) recomendada por la casa comercial se suministró 245 mg de ácido indolbutirico por tocón.

Según Wendling. et al. (2001) citado por Torres (2014), para que suceda el enraizamiento de una planta es necesario promover un equilibrio entre promotores e inhibidores del proceso de iniciación radicular y esto se logra comúnmente con la aplicación de reguladores de crecimiento sintéticos entre estos el ácido indolbutírico. Lo anterior se ajusta y aplica a los resultados obtenidos con los tratamientos de IBA 98 SP en los cuales se elevó el contenido de auxina en los tocones proporcionando mayor velocidad, número, calidad y uniformidad de enraizamiento (ver foto 39 de anexos) respecto a los otros tratamientos.

Con todo lo antes mencionado y teniendo en cuenta que según Mesen (1998) citado por Escobar (2009); una de las características del ácido indolbutirico es que no es fácilmente degradado por la luz ni por microorganismos y al ser insoluble en agua permanece por más tiempo en el suelo donde puede ejercer mayor efecto, considerando también que según Agricultureros (2017), las auxinas inhiben el crecimiento de la raíz primaria y estimulan específicamente la formación de raíces secundarias; por ende es de entender porque los tocones tratados con IBA 98 presentaron mejor enraizamiento que los demás productos.

Con base a los resultados obtenidos se determinó que no existe una diferencia considerablemente significativa entre las cantidades de aplicación del producto IBA 98 SP, ya que entre el tratamiento de 1 aplicación (T10) y el tratamiento de 3 aplicaciones (T12) existe una diferencia mínima de 1.2 cm^3 de aumento volumen de radicular, la causa de lo anterior fue la misma acción auxínica del producto.

De acuerdo a Silvori (1980) citado por Torres (2014), la acción de la auxina se ejerce en dos etapas, en la primera el efecto es de pronta estimulación y crecimiento, pero este es acortado a medida que la concentración y dosis de la hormona aumenta provocando la segunda etapa, siendo esta la inhibición causada por el etileno cuya síntesis es proporcional al aumento de auxina en la planta.

En el tratamiento de 2 aplicaciones IBA 98 (T11) se suministró al drench 245 mg de auxina por tocón, mientras que en el tratamiento de 3 aplicaciones de IBA 98 (T12) se dosificó al drench 490 mg de auxina por tocón, es de considerar que para ambos tratamientos hubo inhibición en el desarrollo radicular de los tocones por esa razón la diferencia en el aumento de la volumetría radicular es mínima en comparación al tratamiento de 1 aplicación de IBA 98 (T10), así mismo en la figura 39 de anexos puede notarse visualmente que no existe diferencia en el desarrollo radicular de los tres tratamientos con IBA 98 SP.

Respecto a la canela, al igual que en los resultados de la longitud de raíces (ver cuadros 22, 25 y 28) también en los resultados de la variable aumento de volumen radicular (ver cuadros 31, 34 y 37) los tratamientos con canela no presentaron mayor diferencia volumétrica en comparación a los tratamientos testigo, puesto que la diferencia promedio de incremento de volumen entre los tratamientos de las tres aplicaciones fue de 0.11 cm^3 a favor de los tratamientos canela.

Con base a lo descrito en la información bibliográfica de la canela, una de las razones por las que Torres (2014) obtuvo buenos resultados en el enraizamiento fue por la actividad antimicrobiana del eugenol y aldehído cinámico (protegiendo a los esquejes de los microorganismos) en acción sinérgica con las funciones del fósforo, calcio y potasio.

Al comparar los resultados del análisis bromatológico (ver figura 28 en anexos) de la canela utilizada para este estudio, con el contenido descrito por INCAP (2012) (ver cuadro 3) y el descrito por Torres, evidencian la carencia de muchos componentes incluyendo el fósforo, potasio y calcio.

De la canela utilizada el único componente que pudo ejercer cierto efecto en el desarrollo de raíces de los tocones es el extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) tanto por su alto contenido (75.37%) como por su función en la formación de células nuevas en las raíces. Lo antes mencionado da a entender porque los tratamientos con canela no presentaron buenos resultados (ver cuadros 31, 34 y 37) en comparación a los tratamientos testigo, tanto en la longitud como en el volumen radicular.

4. Biomasa radicular (gramos)

A continuación, se presentan los resultados de la variable biomasa radicular de los tocones para los tratamientos de una, dos y tres aplicaciones respectivamente:

Cuadro 38. Resumen de datos de la biomasa radicular en gramos (gr) obtenidos en campo de los tratamientos de una aplicación.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T1	19.0	20.0	18.0	18.0	17.0	92.0	18.4
Maxiboost	T4	18.0	19.0	18.0	22.0	15.0	92.0	18.4
Raizal	T7	20.0	17.0	16.0	17.0	25.0	95.0	19.0
IBA 98 SP	T10	15.0	16.0	21.0	25.0	21.0	98.0	19.6
Testigo	T13	21.0	16.0	15.0	26.0	16.0	94.0	18.8
Suma		93.0	88.0	88.0	108.0	94.0	471.0	

Cuadro 39. Resumen de datos de la biomasa radicular en gramos (gr) obtenidos en campo de los tratamientos de dos aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T2	18.0	17.0	17.0	18.0	20.0	90.0	18.0
Maxiboost	T5	17.0	18.0	19.0	20.0	17.0	91.0	18.2
Raizal	T8	22.0	20.0	18.0	20.0	18.0	98.0	19.6
IBA 98 SP	T11	15.0	20.0	25.0	15.0	24.0	99.0	19.8
Testigo	T14	16.0	22.0	18.0	15.0	23.0	94.0	18.8
Suma		88.0	97.0	97.0	88.0	102.0	472.0	

Cuadro 40. Resumen de datos de la biomasa radicular en gramos (gr) obtenidos en campo de los tratamientos de tres aplicaciones.

Producto	Tratamiento	Repeticiones y/o bloques					Suma	Media
		I	II	III	IV	V		
Canela	T3	21.0	18.0	20.0	19.0	18.0	96.0	19.2
Maxiboost	T6	19.0	25.0	16.0	20.0	21.0	101.0	20.2
Raizal	T9	24.0	21.0	22.0	22.0	22.0	111.0	22.2
IBA 98 SP	T12	21.0	24.0	26.0	20.0	24.0	115.0	23.0
Testigo	T15	20.0	23.0	22.0	21.0	20.0	106.0	21.2
Suma		105.0	111.0	106.0	102.0	105.0	529.0	

Se efectuaron los análisis de varianza al 5% de significancia para determinar la existencia de diferencias significativas entre las medias para los tratamientos de una, dos y tres aplicaciones:

Cuadro 41. Análisis de varianza para la variable biomasa radicular en los tratamientos de una, dos y tres aplicaciones.

ANDEVA de tratamientos de una aplicación					
FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	4.96	1.24	0.11	3.01 (N.S.)
Bloques	4	53.76			
Error Experimental	16	184.64	11.54		
Total	24				
<i>%CV = 18.03</i>					
ANDEVA de tratamientos de dos aplicaciones					
FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	13.04	3.26	0.39	3.01 (N.S.)
Bloques	4	30.64			
Error Experimental	16	134.96	8.43		
Total					
<i>%CV = 15.38</i>					
ANDEVA de tratamientos de tres aplicaciones					
FV	GL	SC	CM	FC	FT
Tratamientos	4	46.16	11.54	2.41	3.01 (N.S.)
Bloques	4	8.56			
Error Experimental	16	76.64	4.79		
Total	24				
<i>%CV = 10.34</i>					

De acuerdo a los ANDEVA; se determina que no existen diferencias significativas (N.S.) entre las medias para los tratamientos de una, dos y tres aplicaciones, debido a que la F tabulada (FT) fue mayor a la F calculada (FC) en todos los casos.

Entonces se acepta la hipótesis nula uno (H_01); la cual indica que; todos los tratamientos en evaluación generaron el mismo efecto sobre la variable biomasa radicular. Los coeficientes de variación obtenidos fueron respectivamente de 18.03%, 15.38% y 10.34%.

5. Costos de aplicación por tarea de cada tratamiento

En el siguiente cuadro se exponen los productos utilizados para la preparación de los tratamientos con la respectiva cantidad adquirida y costo en quetzales:

Cuadro 42. Cantidad y costo de los insumos adquiridos.

Insumo	Cantidad adquirida	Precio Q.
Canela	1 kilogramo	153. ⁰⁰
Maxiboost	1 litro	200. ⁰⁰
Raizal 400	1 kilogramo	90. ⁰⁰
IBA 98 SP	10 sobres de 10 gramos c/u	62. ⁰⁰ /sobre
Alcohol al 95%	1 galón	60. ⁰⁰

Tal y como puede notarse el insumo enraizador de menor costo fue el raizal con Q 90 el kilogramo, mientras que el de mayor costo fue el IBA 98 con Q 620 los 10 sobres de hormona.

En el cuadro 43 se exhibe el costo por tratamiento para cada uno de los 12 tratamientos evaluados en los que se aplicó insumo enraizador en los tocones de hule:

Cuadro 43. Costo total de insumos por tratamiento.

Tratamiento	Costo/tratamiento/aplicación			Costo total/ tratamiento
	Aplicación 1	Aplicación 2	Aplicación 3	
T1 canela	3.36	-	-	Q 3.36
T2 canela	3.36	13.77	-	Q 17.13
T3 canela	3.36	13.77	13.77	Q 30.90
T4 maxiboost	3.67	-	-	Q 3.67
T5 maxiboost	3.67	3.72	-	Q 7.39
T6 maxiboost	3.67	3.72	3.72	Q 11.11
T7 raizal	1.65	-	-	Q 1.65
T8 raizal	1.65	1.70	-	Q 3.35
T9 raizal	1.65	1.70	1.70	Q 5.05
T10 IBA 98	125.3	-	-	Q 125.3
T11 IBA 98	125.3	51.3	-	Q 176.6
T12 IBA 98	125.3	51.3	51.3	Q 227.9

El tratamiento de menor costo fue el de una aplicación de raizal (T7) con Q 1.65, mientras que el de mayor costo fue el de tres aplicaciones de IBA 98 (T12) con Q 227.9.

El cuadro 44 muestra los costos de insumo y mano de obra para la aplicación de una tarea de tocones para cada uno de los tratamientos:

Cuadro 44. Costo de insumo y mano de obra para la aplicación de una tarea de cada tratamiento.

Tratamiento	Costo de insumo /aplicación de una tarea			Costo de jornal//aplicación de una tarea			Costo total por tratamiento	Costo de producción /tocón /tratamiento
	#1	#2	#3	#1	#2	#3		
T1 canela	Q 33.6	-	-	Q 80	-	-	Q 113.6	Q 0.112
T2 canela	Q 33.6	Q 918	-	Q 80	Q 80	-	Q 1,111.6	Q 0.571
T3 canela	Q 33.6	Q 918	Q 918	Q 80	Q 80	Q 80	Q 2,109.6	Q 1.03
T4 maxiboost	Q 36.7	-	-	Q 80	-	-	Q 116.7	Q 0.122
T5 maxiboost	Q 36.7	Q 248	-	Q 80	Q 80	-	Q 444.7	Q 0.246
T6 maxiboost	Q 36.7	Q 248	Q 248	Q 80	Q 80	Q 80	Q 772.7	Q 0.370
T7 raizal	Q 16.5	-	-	Q 80	-	-	Q 96.5	Q 0.055
T8 raizal	Q 16.5	Q 113.3	-	Q 80	Q 80	-	Q 289.83	Q 0.112
T9 raizal	Q 16.5	Q 113.3	Q 113.3	Q 80	Q 80	Q 80	Q 483.16	Q 0.169
T10 IBA 98	Q 1,253	-	-	Q 80	-	-	Q 1,333	Q 4.18
T11 IBA 98	Q 1,253	Q 3,420	-	Q 80	Q 80	-	Q 4,833	Q. 5.89
T12 IBA 98	Q 1,253	Q 3,420	Q 3,420	Q 80	Q 80	Q 80	Q 8,333	Q 7.60
T13 testigo	-	-	-	Q 80	-	-	Q 80	-
T14 testigo	-	-	-	Q 80	-	-	Q 80	-
T15 testigo	-	-	-	Q 80	-	-	Q 80	-

En el cuadro anterior se observa el costo de insumos (Q) para la aplicación de una tarea de 300 tocones en inmersión y 2,000 tocones al drench; de las correspondientes aplicaciones (#1, #2 y #3) de cada uno de los quince tratamientos. Así mismo se observa el costo de la mano de obra para la aplicación de dichas tareas de tocones de las distintas cantidades de aplicación de todos los tratamientos, siendo este un costo de Q 80 por tarea, tanto en inmersión como al drench.

En caso de que en Finca Mixpillá o alguna otra institución agrícola productora de almácigo de *H. brasiliensis* decida optar por alguno de los tratamientos evaluados y así mismo adopte la tarea de 300 tocones por inmersión y 2000 tocones al drench; los tres tratamientos de mayor costo son; el Tratamiento 3 (3 aplicaciones de canela) con Q 2,109.6, el Tratamiento 11 (2 aplicaciones de IBA 98) con Q 4,833 y el Tratamiento 12 (3 aplicaciones de IBA 98) que es el más caro con un gasto de Q 8,333 en total.

Para la variable diámetro de tocones en cada una de las aplicaciones siempre fueron los tratamientos con IBA 98 (T10, T11 y T12) los que propiciaron los mejores resultados, los costos respectivos para la tarea de cada uno de estos tratamientos son; Q 1,333/ Q 4,833/ Q 8,333.

Respecto a la longitud radicular, en los tratamientos de una aplicación el que presentó el mejor resultado fue el tratamiento de una aplicación de IBA 98 (T10) con un costo de Q 1,333, mientras que en los de dos aplicaciones el mejor dato lo propició el tratamiento de dos aplicaciones de maxiboost (T5) cuyo costo es de Q 444.7, en tanto a los tratamientos de tres aplicaciones fue el tratamiento testigo de tres meses (T15) el que produjo mejor largo de raíces con un costo de Q 80.

Mientras que en la variable volumen radicular al igual que en el diámetro de tocones siempre fueron los tratamientos con IBA 98 (T10, T11 y T12) los que presentaron las mejores medias, tales costos fueron detallados anteriormente.

En la última columna del cuadro 44 se expone el costo de insumo gastado en la aplicación de producto por tocón de cada uno de los tratamientos, notándose que el menor costo lo presenta el Tratamiento 7 (1 aplicación de raizal) con Q 0.055 es decir 5.5 centavos de gasto por tocón, mientras que el mayor costo se tuvo en el Tratamiento 12 (3 aplicaciones de IBA 98) con Q 7.60 gastados en cada tocón.

VII. CONCLUSIONES

1. Todos los tratamientos evaluados en una, dos y tres aplicaciones manifestaron diferencias significativas para las variables aumento de diámetro, longitud de raíces y aumento de volumen radicular. Únicamente la variable biomasa radicular no tuvo ese comportamiento.
2. Los tratamientos con IBA 98 (T10, T11 y T12) fueron los que presentaron las mayores medias de aumento de diámetro de tocones (1.64, 1.82 y 2.02 mm), pero tras una segunda y también tras una tercera aplicación; los tratamientos con Raizal y Maxiboost aumentaron más el diámetro en tocones a diferencia del IBA 98, generando resultados estadísticamente semejantes en la segunda y tercera aplicación.
3. Respecto a la longitud radicular; en los tratamientos de una aplicación fue el producto IBA 98 (T10) el que presentó el mayor largo de raíces con 11.7 cm, en los tratamientos de dos aplicaciones la mejor media la generó el maxiboost (T5) con 14.4 cm, mientras que en los de tres aplicaciones el tratamiento testigo (T15) brindó el mejor resultado con 17 cm de longitud.
4. En las distintas cantidades de aplicación de productos (cuadro 31, 34 y 37); los tratamientos con IBA 98 (T10, T11 y T12) fueron superiores a los demás tratamientos, estimulando volumétricamente un mejor desarrollo de raíces en los tocones propiciando respectivamente 15.8, 16 y 17 cm³ de aumento de volumen radicular.
5. Con base a las tareas de aplicación de Finca Mixpillá y sin considerar los tres tratamientos testigos se determinó que el Tratamiento 12 (3 aplicaciones de IBA 98) presento el mayor costo (insumo y mano de obra) con 8,333 Q/tarea así mismo con un costo de 7.6 Q/tocón, mientras que el Tratamiento 7 (1 aplicación de raizal) generó el menor costo por tarea siendo de Q 96.5 y un gasto de 0.055 Q/tocón.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Efectuar pruebas de enraizamiento de plantas de *H. brasiliensis* utilizando fuentes de auxinas orgánicas hasta encontrar un enraizador orgánico que genere un desarrollo de raíces morfológica y económicamente beneficiosas al productor de almácigo.
2. Experimentar con menores dosis de IBA 98 a la que utilizó (0.25 gr/planta) o bien con otros productos a base de auxina (Rootex, ácido indol-acético, ácido naftalenacético) para conocer si a una menor cantidad de IBA 98 SP o de otros productos se pueden obtener resultados comparables o mejores a los obtenidos, considerando que las condiciones edafoclimáticas, manejo agronómico, entre otros aspectos de esta investigación sean similares.
3. Evaluar con mayores dosis de Maxiboost y Raizal a las utilizadas (0.62 cc/tocón y 0.63 gr/tocón) para saber si aumentando las dosis de estos productos se pueden obtener efectos radiculares comparables y más económicos a los presentados por los tratamientos con IBA 98, o bien combinar el uso de Raizal con Maxiboost.
4. En el traslado de plántulas portainjerto de *H. brasiliensis* de semillero a bolsa, considerar hacer uso del IBA 98 SP, sumergiendo la zona radicular de los pilones en la solución enraizadora, para asegurar tempranamente un buen desarrollo radicular.
5. En las etapas iniciales de desarrollo del portainjerto es sugerible la aplicación de fertilizantes y otros productos con alto contenido de fósforo para estimular indirectamente el crecimiento y desarrollo de raíces a causa de dicho elemento.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Agricultureros. (agosto de 2017). *Revisión el funcionamiento de auxinas, giberelinas y citocininas*. Recuperado el 10 de enero de 2020, de: <https://agricultureros.com/revisa-el-funcionamiento-de-auxinas-giberelinas-y-citocininas/>
- 2) Aquilá, D. (2019). *Diagnóstico de la situación actual del cultivo de hule (**Hevea brasiliensis**) en Finca Santa Ana Mixpillá, San Miguel Panán, Suchitepéquez*. (Informe de EPS Agronomía). Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de Sur Occidente. Mazatenango, Suchitepéquez, GT.
- 3) Carretero, M. (sf). *Actividad Terapéutica de la Corteza de la Canela*. Recuperado el 8 de marzo de 2019, de: <https://docplayer.es/32569053-Actividad-terapeutica-de-la-corteza-de-canela-maria-emilia-carretero-accame.html>
- 4) Correa, D., & Vásquez, E. (2013). *Evaluación del efecto estimulativo de tres enraizadores en estacas de caucho **Hevea brasiliensis** (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg., en el Centro de Investigación Santa Lucía, Barrancabermeja, Santander*. (Tesis de Ingeniería Agronómica). Instituto Universitario de la Paz. Programa de Ingeniería Agronómica. Barrancabermeja, Col.
- 5) Disagro. (2015). *Efecto de los ingredientes activos de **Ascophyllum Nodosum** en las plantas*. Guatemala, GT.
- 6) Escobar, R. (2009). *Evaluación de dos sistemas de enraizamiento de cacao criollo (**Teobroma cacao** L.) utilizando ácido indolbutírico y análisis económico, en Granja Docente Zahorí, Cuyotenango, Suchitepéquez*. (Trabajo de Graduación de Agronomía). Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de Sur Occidente. Mazatenango, Suchitepéquez, GT.
- 7) FEDECAUCHO. (Federación Nacional de Productores de Caucho Natural). (2002). *Módulos Técnicos del Caucho Natural*. Bogotá, Colombia.
- 8) Fertilab. (sf). *Funciones y síntoma de deficiencia de calcio en los cultivos*. Guanajuato, México.

- 9) García, C. (2004). *Evaluación de la resistencia a (**Microcyclus ulei**) V. Arx. de 25 clones de hule (**Hevea brasiliensis** Muell) durante el cuarto y quinto año de crecimiento bajo condiciones del centro de agricultura tropical Bulbuxyá, San Miguel Panán, Suchitepéquez.* (Tesis de Sistemas de Producción Agrícola). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Guatemala, GT.
- 10) Gómez, A., & López, A. (2009). *Potencial antimicrobiano de los aceites esenciales de orégano (**Origanum vulgare**) y canela (**Cinnamomun zeylanicum**)*. Puebla, México.
- 11) González, M. (2010). *Conservación de mora, uvilla y frutilla mediante la utilización de aceite esencial de canela (**Cinnamomun zeylanicum**)*. (Tesis de Bioquímico Farmacéutico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador.
- 12) GREMHULE. (Gremial de Huleros de Guatemala). (2010). *Manual práctico del cultivo de hule (**Hevea brasiliensis**)*. Guatemala, GT.
- 13) INCAP. (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centro América*. Guatemala, GT.
- 14) INIFAP. (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017). *Caracterización morfológica y molecular de clones de hule (**Hevea brasiliensis** (Will. ex A. Juss.) Müll. Arg.)*. Ciudad de México, Mx.
- 15) Intagri. (2017). *Las funciones del potasio en la nutrición vegetal. Artículos técnicos de Intagri*. México. Recuperado el 12 de marzo de 2020, de: [https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20potasio%20es%20el%20principal,las%20ra%C3%ADces%20\(Figura%203\).](https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20potasio%20es%20el%20principal,las%20ra%C3%ADces%20(Figura%203).)
- 16) Intagri. (sf). *Uso de extractos de algas (**Ascophyllum nodosum**) como bioestimulantes en agricultura*. Recuperado el 6 de marzo de 2019, de: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-de-extractos-de-ascophyllum-nodosum>

- 17) Larriva, N. (junio de 2003). *Síntesis de la importancia del potasio en el suelo y plantas*. Ecuador.
- 18) López, A., & González, B. (2014). *Diseño y análisis de experimentos “Fundamentos y aplicaciones en agronomía”*. USAC. Facultad de Agronomía. Guatemala, GT.
- 19) Marketing ARM International. (sf). *IBA 98 SP*. Recuperado el 6 de marzo de 2019, de: <https://magua.com.gt/productos/iba-98-sp/>
- 20) Martínez, M. (2016). *Evaluación de enraizadores en la producción de almácigo de café*. (Tesis de Ciencias Agrícolas con Énfasis en Riegos). Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Jutiapa, GT.
- 21) Rueda, M. (2008). *Efecto de tres bioestimulantes en el enraizamiento de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn-51 mediante acodos aéreos en Tingo María*. (Tesis del Departamento Académico de Ciencias Agrarias). Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Tingo María, Perú.
- 22) Sela, G. (febrero de 2020). *Smart Fertilizer “Potasio en las plantas”*. Recuperado el 12 de marzo de 2020, de: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/potassium-in-plants/>
- 23) Torres, C. (2014). *Evaluación de la eficacia de tres enraizadores orgánicos y ácido indol acético en esquejes de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.)*. (Tesis en Línea de Investigación en Producción). Universidad Nacional de Huancavelica. Facultad de Ciencias Agrarias. Huancavelica, Perú.
- 24) Zavala, C. (2018). *Evaluación de tres enraizadores en tres sustratos en el cultivo de manzanilla (*Crataegus guatemalensis*) en Santa Lucía Utatlán, Sololá*. (Tesis de Ciencias Agrícolas con Énfasis en Gerencia Agrícola). Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Quetzaltenango, GT.

Vo. Bo. 
Lcda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria CUNSUROC.



X. ANEXOS

	<h1>MaxiBoost</h1>	 <p>NUTRICIÓN DE CULTIVOS FERTILIZANTE FOLIAR</p>
Descripción:		
<p>MaxiBoost es un fertilizante foliar formulado a base de extractos de algas marinas que proporcionan hormonas naturales en cantidad necesaria para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas. Adicionalmente MaxiBoost contiene elementos secundarios y micronutrientes quelatados con EDTA, para garantizar su estabilidad en solución. Las aplicaciones de este producto ayudan a complementar la nutrición o corregir las deficiencias de estos nutrientes en los cultivos.</p>		
Nutrientes principales: (Expresado como % p/p)		
1.05 %	Magnesio (Mg)	
1.1 %	Azufre (S)	
0.5 %	Hierro (Fe)	
0.25 %	Manganeso (Mn)	
0.25 %	Cobre (Cu)	
0.14 %	Zinc (Zn)	
0.004 %	Molibdeno (Mo)	
Características físicas y químicas:		
Color y apariencia:	Líquido color verde oscuro o café oscuro	
pH:	3.5 - 5	
Densidad kg/L:	1.125	
Compatibilidad:		
<p>Compatible con la mayoría de fertilizantes y pesticidas.</p>		

Figura 26. Ficha técnica del producto MaxiBoost.

Fuente. DISAGRO, 2015.

 **Efecto de los activos de *Ascophyllum nodosum* en las plantas.**

Ingrediente activo	Efecto en planta
Betaínas	Sirven como un soluto que alivia el estrés osmótico por salinidad y sequía, mejora la clorofila de las hojas
Manitol	Confiere flexibilidad y adaptación a los fenómenos de estrés. Excelente efecto bioestimulante en plantas y juegan un papel importante en la defensa frente a enfermedades
Polifenoles	Sustancias con alto poder antioxidante (Anti ROS) para estabilizar y reforzar las paredes celulares frente al ataque de patógenos, y son a su vez sustancias con efecto anti microbiológico
Laminarias	Estimulan la síntesis de fitoalexinas y suelen ser sustancias con efecto antifúngico
Fucanos	Tienen un papel importantísimo en la respuesta al estrés biótico, con efecto elicitor promoviendo la síntesis de sustancias de respuesta

Fuente: Norrie, J.; Neyl, W. 2015. Extractos de *Ascophyllum nodosum* en la Producción Agrícola. Horticulturae, México

Confianza que da los mejores fr

 **Efecto de los activos de *Ascophyllum nodosum* en las plantas.**

Ingrediente activo	Efecto en planta
Citoquininas	Son hormonas (Zeatina) que promueven la diferenciación y división celular, reinvierten la dominancia apical, activación de yemas adventicias, mejoran el desarrollo del fruto.
Auxinas y giberelinas	Hormonas que participan en la multiplicación y elongación celular.
Aminoácidos	Acido glutámico, alanina, fenilalanina, glicina, prolina, lisina y otros, ayudan a la planta a una mejor respuesta al estrés, activan rutas metabólicas de defensa.

El beneficio de los extractos de *Ascophyllum nodosum* se entiende como un efecto sinérgico entre todos sus componentes, no pudiendo aislar un efecto por sí solo de cada uno de sus activos.

Confianza que da los mejores fr

Figura 27. Activos de *Ascophyllum nodosum* presentes en el producto Maxiboost.
Fuente. DISAGRO, 2015.

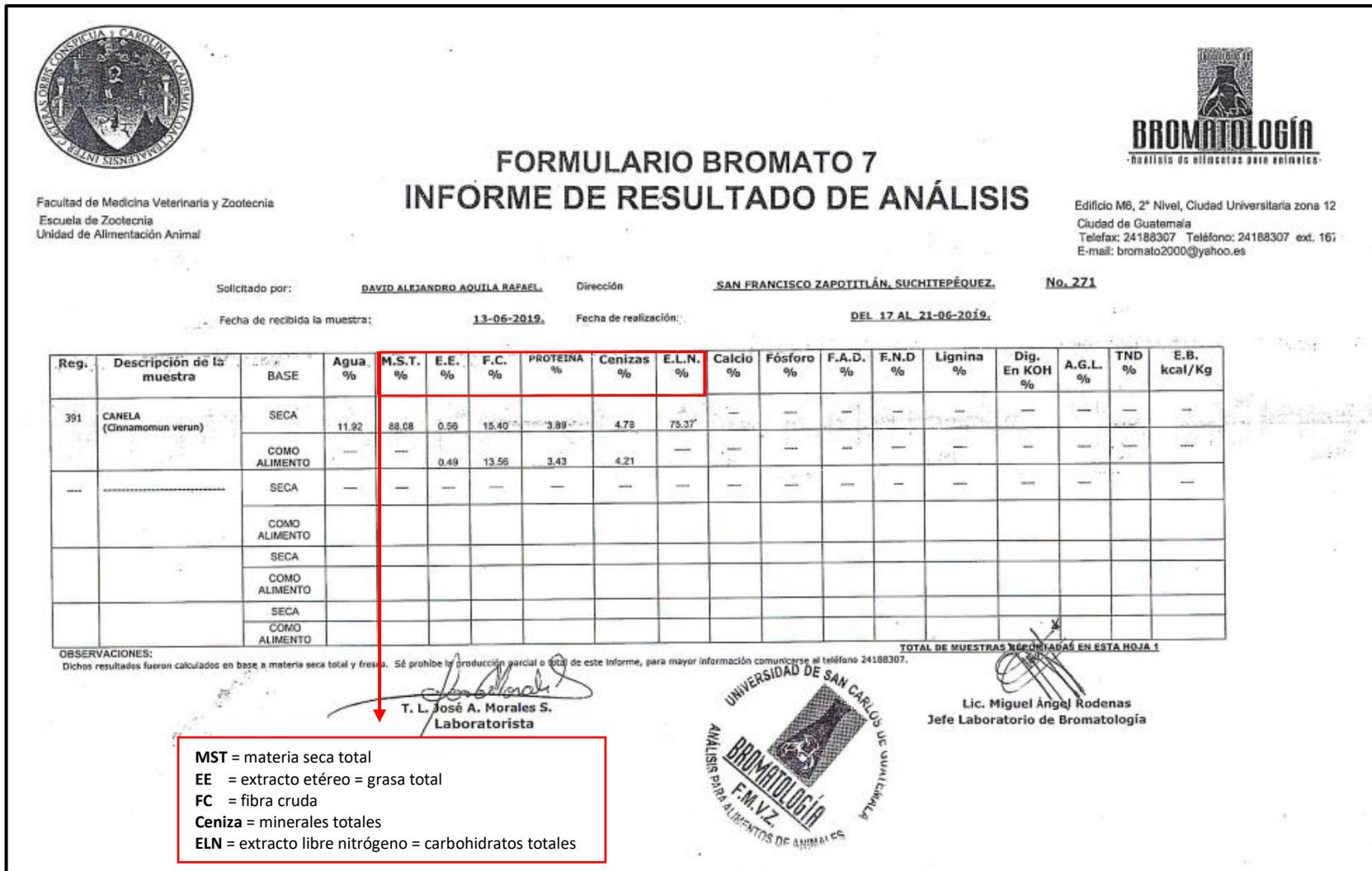


Figura 28. Resultados de análisis bromatológico de canela utilizada.

Fuente: Laboratorio bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, (2019).



Figura 29. Secado de raíces al sol durante 20 minutos.



Figura 30. Horno de convección de Finca Santa Ana Mixpillá.

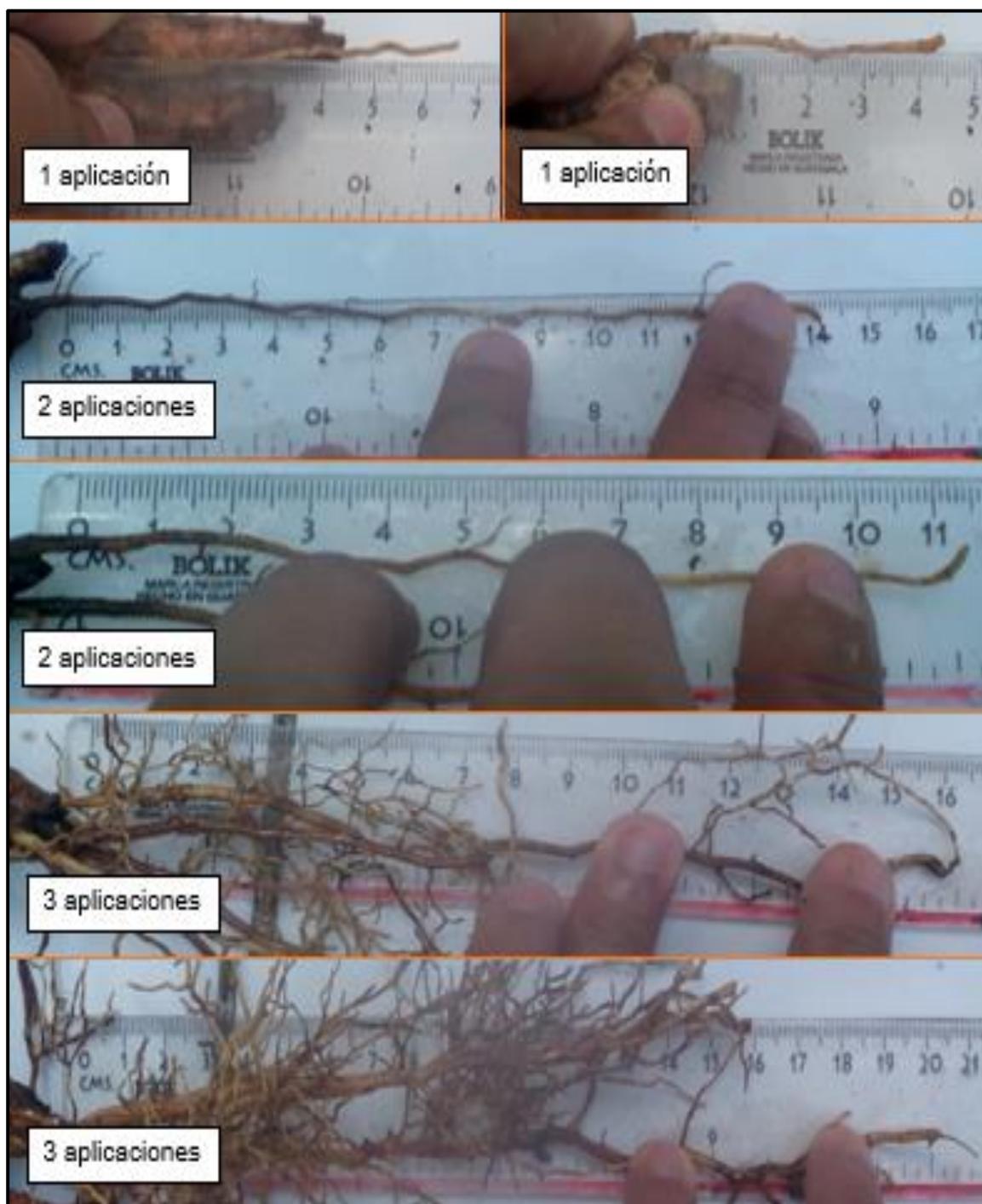


Figura 31. Medición de longitud radicular de los tratamientos con canela.

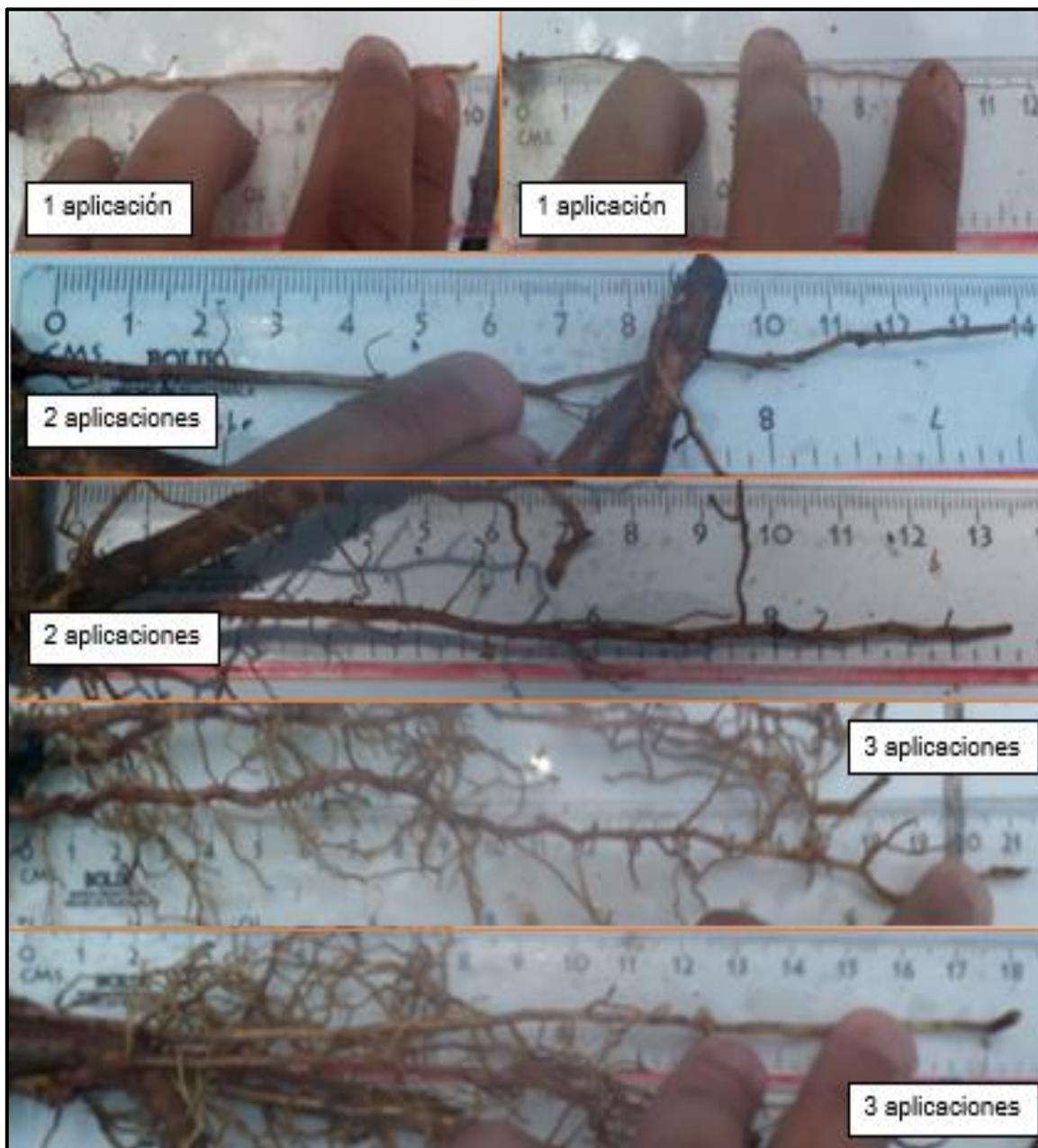


Figura 32. Medición de longitud radicular de los tratamientos con maxiboost.

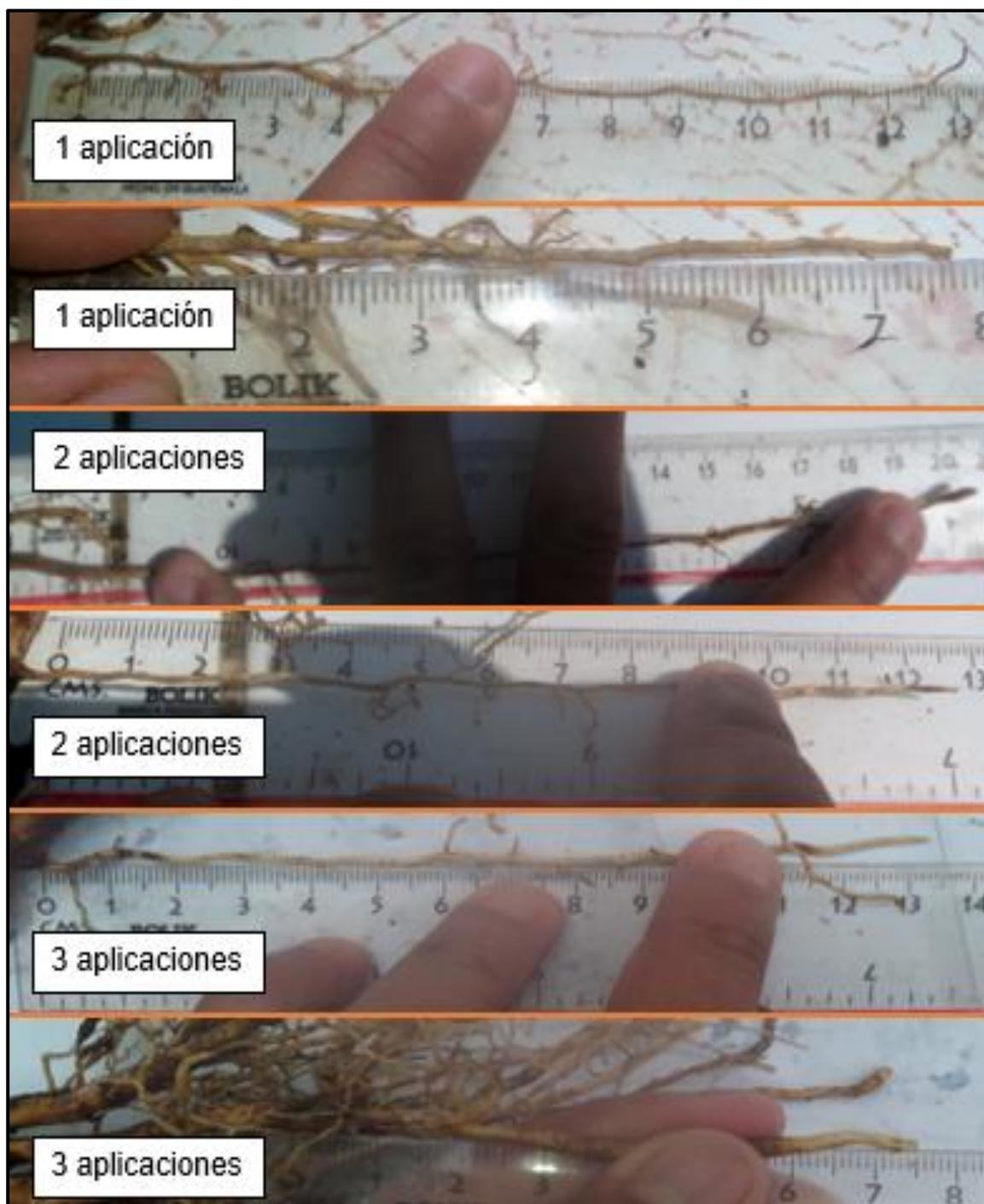


Figura 33. Medición de longitud radicular de los tratamientos con raizal.

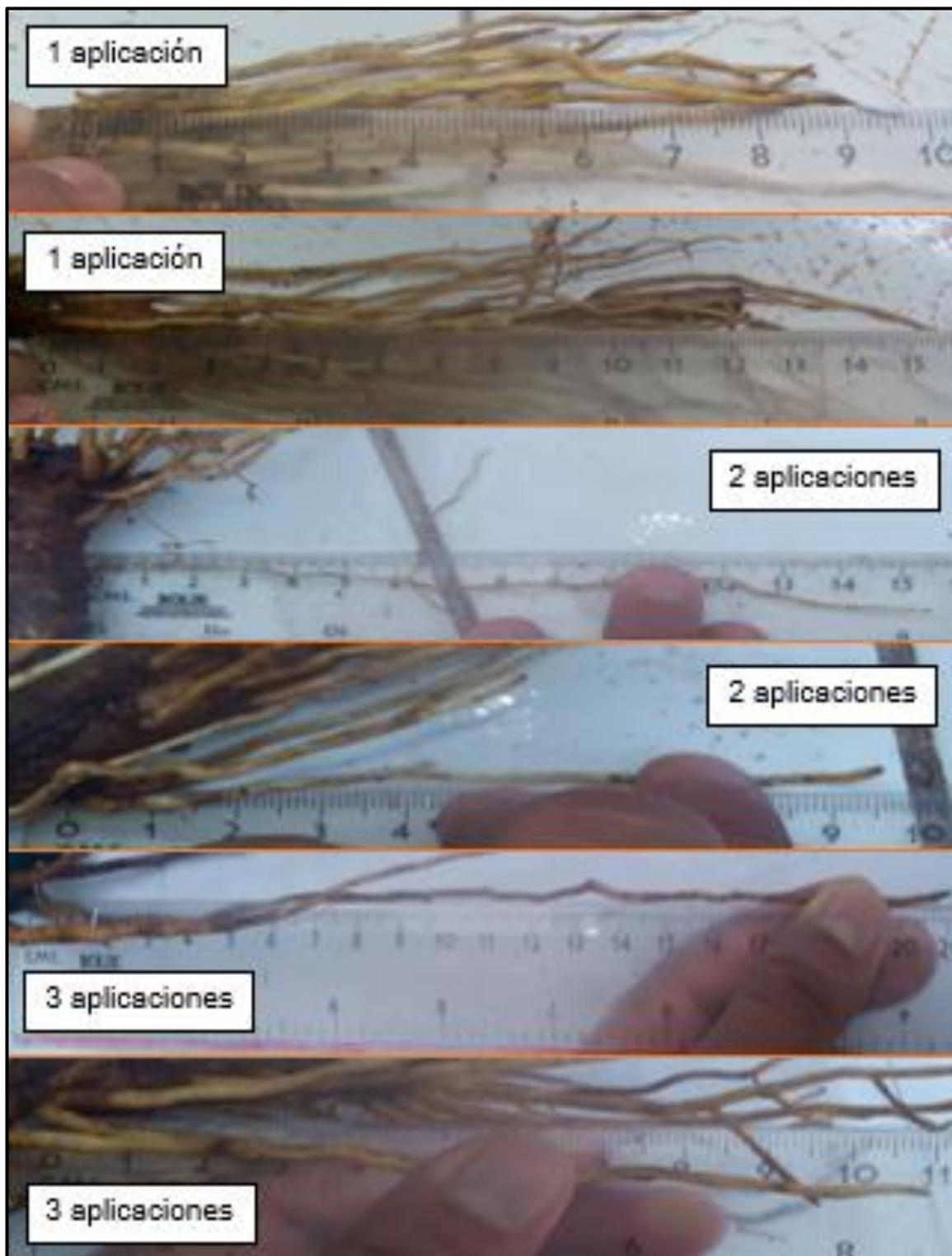


Figura 34. Medición de longitud radicular de los tratamientos con IBA 98 SP.

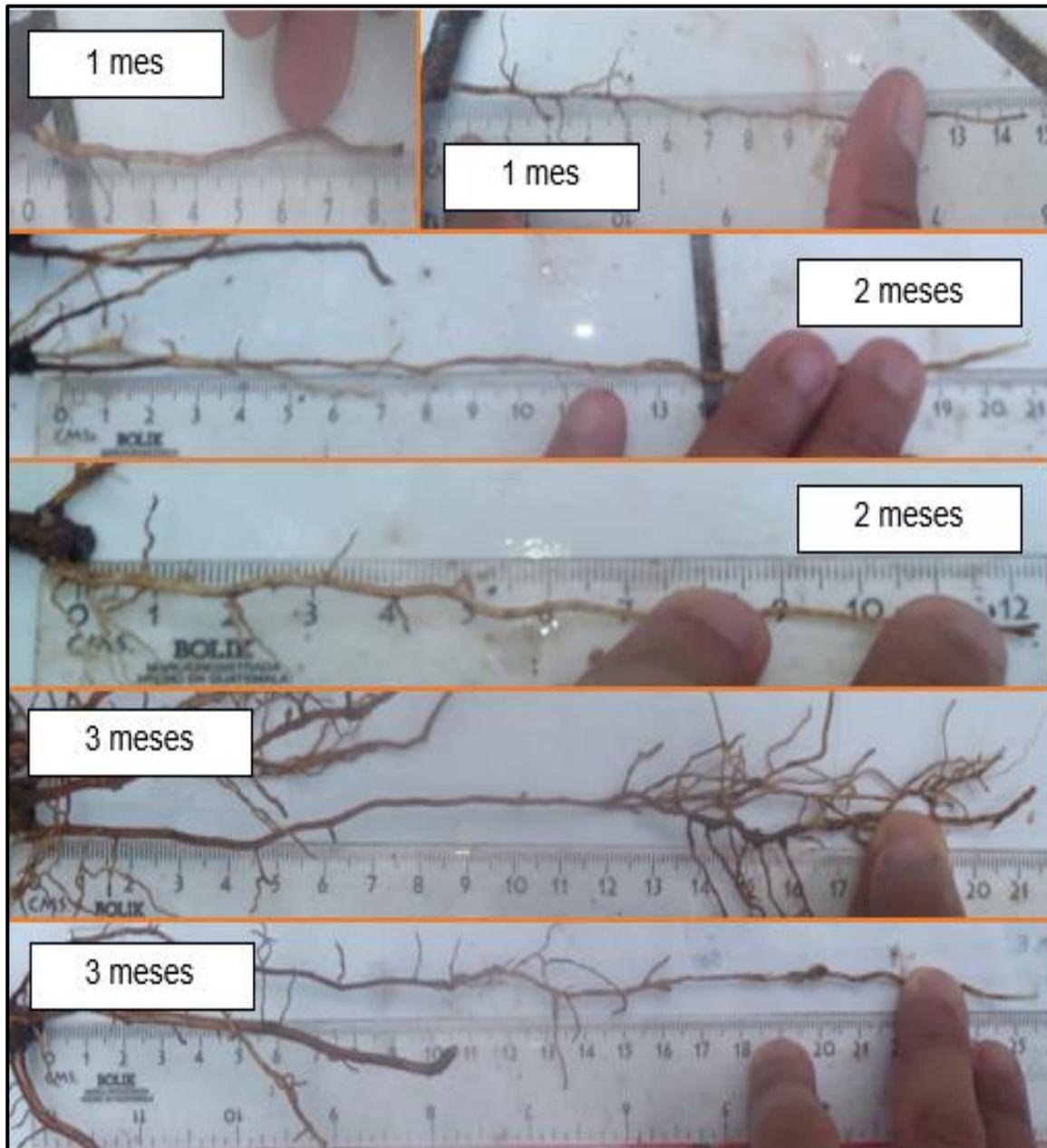


Figura 35. Medición de longitud radicular de los tratamientos testigo.



Figura 36. Sistema radicular de tocones tratados con canela.



Figura 37. Sistema radicular de tocones tratados con maxiboost.

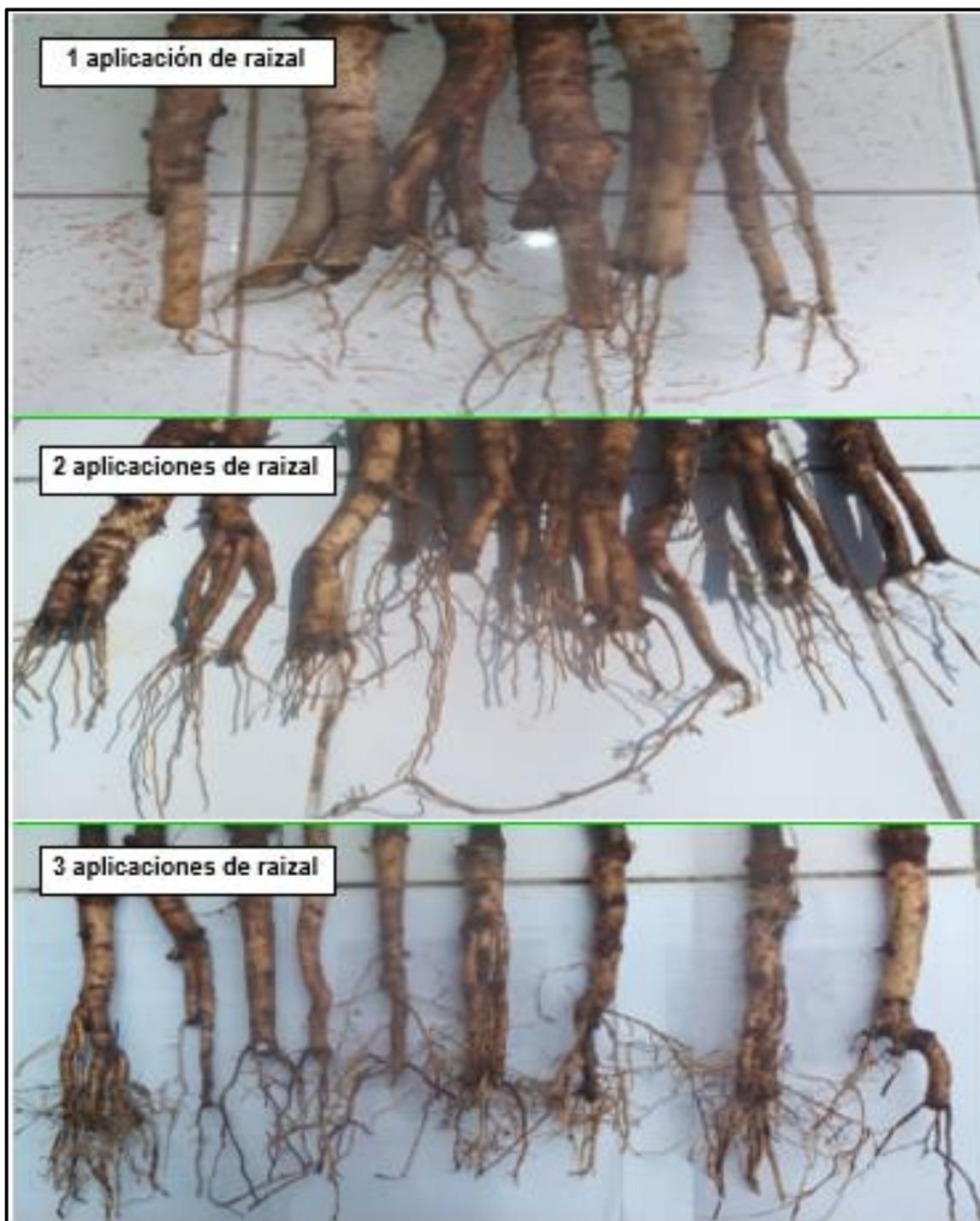


Figura 38. Sistema radicular de tocones tratados con raizal.

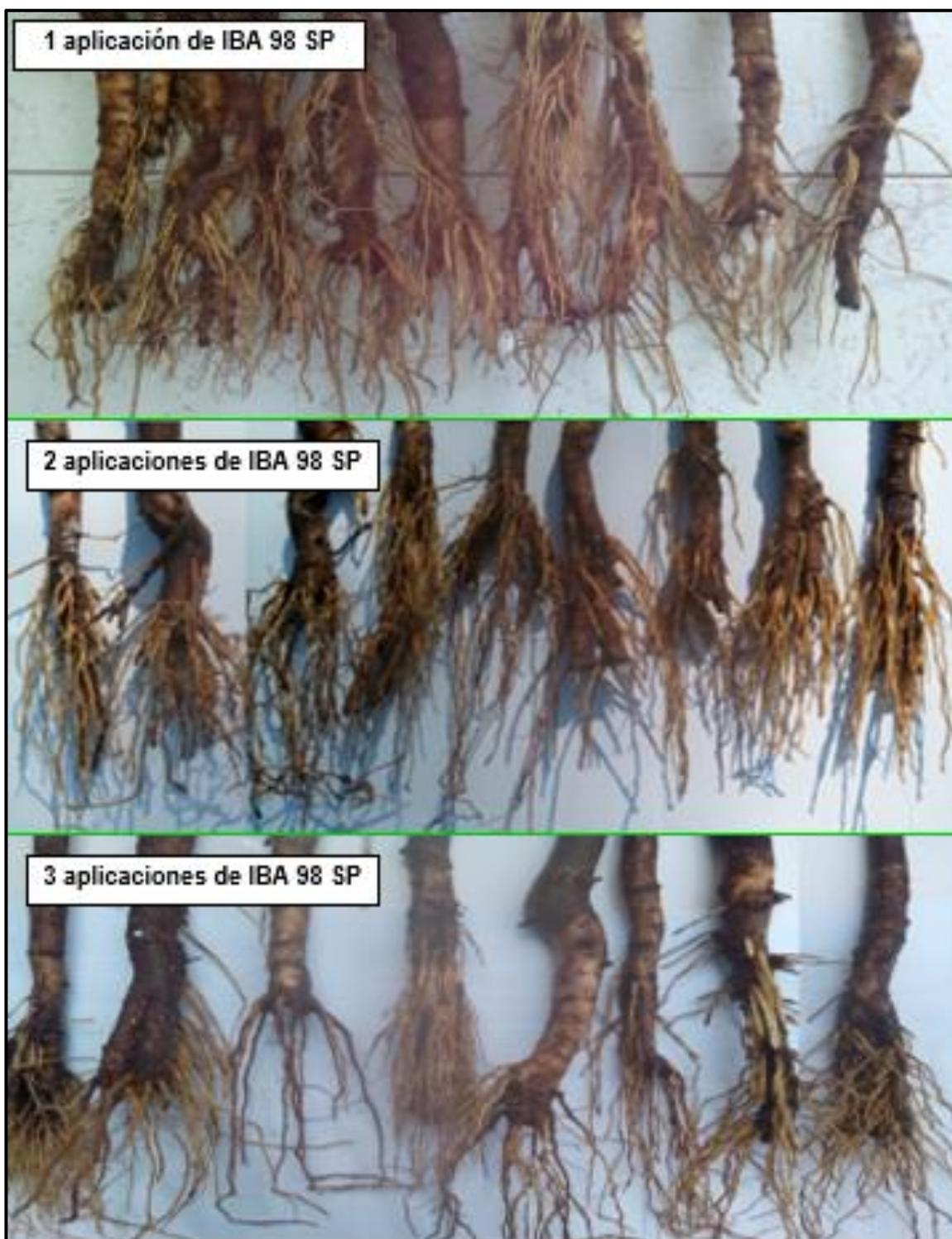


Figura 39. Sistema radicular de tocones tratados con IBA 98 SP.



Figura 40. Sistema radicular de tratamientos testigo.



Mazatenango, Abril de 2022.

Ing. Luis Alfredo Tobar Piril
Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Apreciable Ingeniero:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que cumpliendo con el nombramiento que me fuera asignado he procedido a supervisar y asesorar el trabajo de graduación del estudiante; David Alejandro Aquilá Rafael, Carné 201340615, el cual lleva por título **Evaluación del efecto de enraizadores sobre portainjerto de *Hevea brasiliensis*, "hule", en clon IAN 873, Finca Santa Ana Mixpillá, San Miguel Panán, Suchitepéquez.**

Luego del asesoramiento, supervisión y revisión de informe escrito, considero que el mismo llena los requisitos para continuar con los trámites correspondientes que rigen este centro universitario y firmo la presente, dando fe de lo antes mencionado.

Sin otro particular se despide de usted, atentamente:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Nicolás Barrios', written over a horizontal line.

Ing. Agr. Nicolás Barrios
Supervisor - Asesor
Carrera de Agronomía Tropical



CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE G
RONOMÍA TROPICAL

Oficio CAT-TG-05-2022
Mazatenango, 09 de mayo de 2022.

Licenciado Luis Carlos Muñoz López
Director en funciones
Centro Universitario del Suroccidente.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Su despacho.

Señor Director:

Con fundamento en el normativo de Trabajos de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que el estudiante **T.P.A. David Alejandro Aquilá Rafael**, quien se identifica con número de **CARNÉ: 201340615**, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **Evaluación del efecto de enraizadores sobre portainjerto de *Hevea brasiliensis*, “hule”, en clon IAN 873, Finca Santa Ana Mixpillá, San Miguel Panán, Suchitepéquez**, el cual fue asesorado por el Ing. Agr. Nicolás Barrios de León, lo que se evidencia con la nota adjunta, que he revisado previamente.

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante T.P.A. Alquilá Rafael, ha cumplido con lo normado, razón por la que someto a su consideración el documento adjunto, para que continúe con el trámite correspondiente para su graduación.

Sin otro particular, esperando haber cumplido satisfactoriamente con la responsabilidad inherente al caso, le reitero las muestras de mi consideración y estima. Deferentemente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Agr. Luis Alfredo Tobar Piril
Coordinador Carrera