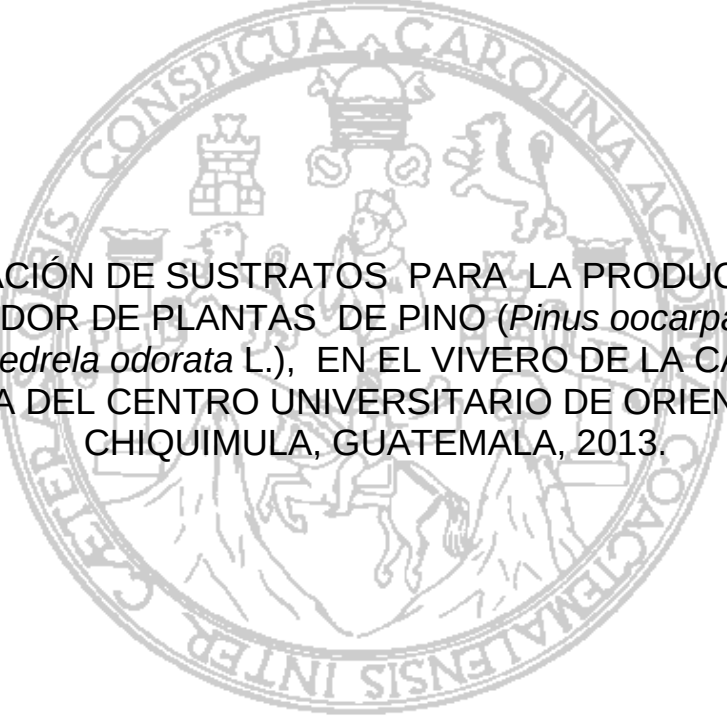


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
AGRONOMÍA



EVALUACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN EN  
CONTENEDOR DE PLANTAS DE PINO (*Pinus oocarpa* Scheide) Y  
CEDRO (*Cedrela odorata* L.), EN EL VIVERO DE LA CARRERA DE  
AGRONOMÍA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-  
CHIQUMULA, GUATEMALA, 2013.

GEOVANY SALOMÓN MIRANDA VILLELA

CHIQUMULA, GUATEMALA, MARZO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN EN  
CONTENEDOR DE PLANTAS DE PINO (*Pinus oocarpa* Scheide) Y  
CEDRO (*Cedrela odorata* L.), EN EL VIVERO DE LA CARRERA DE  
AGRONOMÍA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-  
CHIQUMULA, GUATEMALA, 2013.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

GEOVANY SALOMÓN MIRANDA VILLELA

Al conferírsele el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUMULA, GUATEMALA, MARZO DE 2014

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
AGRONOMIA**



**RECTOR  
Dr. CARLOS ESTUARDO GALVEZ BARRIOS**

**CONSEJO DIRECTIVO**

|                               |                                            |
|-------------------------------|--------------------------------------------|
| Presidente:                   | M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera       |
| Representante de Profesores:  | M.Sc. Edgar Arnoldo Casasola Chinchilla    |
| Representante de Profesores:  | Ph.D. Felipe Nery Agustín Hernández        |
| Representante de Graduados:   | Lic. Zoot. Alberto Genesio Orellana Roldán |
| Representante de Estudiantes: | Br. Heidy Jeaneth Martínez Cuestas         |
| Representante de Estudiantes: | Br. Otoniel Sagastume Escobar              |
| Secretaria:                   | Licda. Marjorie Azucena González Cardona   |

**AUTORIDADES ACADÉMICAS**

|                         |                                      |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Coordinador Académico:  | Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón |
| Coordinador de Carrera: | MSc. José Leonidas Ortega Alvarado   |

**ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

MSc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda  
MSc. José Leonidas Ortega Alvarado  
MSc. Marlon Leonel Bueso Campos

**TERNA EVALUADORA**

MSc. Hugo Ronaldo Villafuerte Villeda  
MSc. José Leonidas Ortega Alvarado  
Ing. Agr. José Luis Sagüil Barrera

Chiquimula, febrero de 2014

Señores:  
Consejo Directivo  
Centro Universitario de Oriente  
Ciudad Chiquimula

Honorables Miembros

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN EN CONTENEDOR DE PLANTAS DE PINO (*Pinus oocarpa* Scheide) Y CEDRO (*Cedrela odorata* L.), EN EL VIVERO DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI- CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2014”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Geovany Salomón Miranda Villela

REF- JRGA-02-2014  
Chiquimula, enero de 2014

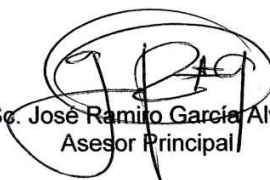
MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera  
Director CUNORI  
Chiquimula, Ciudad

Respetable Licenciado Galdámez:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación - PTG-, para asesorar al estudiante, Geovany Salomón Miranda Villela, en el trabajo de investigación denominado **"EVALUACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN EN CONTENEDOR DE PLANTAS DE PINO (*Pinus oocarpa* Scheide) Y CEDRO (*Cedrela odorata* L.), EN EL VIVERO DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI- CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2013"**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a asesorar y orientar al sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En mi opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomiendo la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el Grado Académico de Licenciado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc. José Ramiro García Álvarez  
Asesor Principal



cc. Archivo

**D-TG-A-002/2014**

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó el estudiante GEOVANY SALOMÓN MIRANDA VILLELA titulado “EVALUACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN EN CONTENEDOR DE PLANTAS DE PINO (*Pinus oocarpa Scheide*) Y CEDRO (*Cedrela odorata L.*) EN EL VIVERO DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE –CUNORI- CHIQUIMULA, GUATEMALA, 2013.”, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Ingeniero Agrónomo. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como **Trabajo de Graduación** a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **Ingeniero Agrónomo**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a treinta de enero de dos mil catorce

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
MSc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera  
**DIRECTOR**  
**CUNORI - USAC**



c.c. Archivo  
NWGC/ars

## **ACTO QUE DEDICO**

- A DIOS:** Todopoderoso por concederme la oportunidad de alcanzar una de las metas más importantes de mi vida, por su misericordia y bendición.
- A MIS PADRES:** Erica Edelwaiss Villela Portillo y Salomón Miranda Flores (QEPD), por sus sacrificios y apoyo incondicional, los cuales se ven recompensados en el triunfo que he alcanzado, dado que siempre continúan apoyándome y orientándome con mucho amor y dedicación.
- A MI HIJA:** Hytzell Dayana, con mucho amor y cariño.
- A MI HERMANAS:** Ingrid Yanina, Karen Julissa, Karla Anaite y Sandra Nineth, por animarme y motivarme en todo el proceso y que este logro sea de estímulo para alcanzar sus metas.
- A MI NOVIA:** Amanda Cabrera por su amor incondicional brindado en todo momento.
- A MIS ABUELOS:** Saturnino Miranda y Adelina Flores (QEPD).  
José Villela y Gregoria Portillo (QEPD).
- A MIS TÍOS Y TÍAS:** Por afecto y cariño hacia mi persona. En especial a Rosa Amelia Villela y Leonel Soto
- A MIS SOBRINOS Y PRIMOS:** Por los buenos momentos que hemos compartido.
- A MIS COMPAÑEROS:** Luis Rosales, Julio Córdón, Emilio Granados, Armando García, Henry Velásquez, Emilio Girón, Víctor Guerra, Marla Gonzáles, Elfidio Anton, Victor Sosa, Erik Pazos, por su amistad y los buenos momentos compartidos.
- A MIS AMIGOS:** Emilio Guzmán, Fidel Ayala, Alfredo España, Carlos Garnica, Alan Pinto, Manuel Rodríguez, Renato Gutiérrez.
- A MIS ASESORES:** MSc. José Ramiro García Álvarez,  
MSc. Fredy Samuel Coronado López  
Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Córdón  
por el apoyo y orientación que me han brindado.

**A MIS CATEDRÁTICOS:**

MSc. Ramiro Gracia, MSc. Hugo Villafuerte, MSc. Marlon Buezo, MSc. Leonidas Ortega, MSc. Rodolfo Chicas, MSc. Edgar Casasola, MSc. Godofredo Ayala, MSc. Ricardo Suchini, MSc. Fredy Coronado, Ing, Agr. Filiberto Coy Ing. Agr. Emerio Guevara, MA. Sandra Prado, Ing. Agr. José Luis Sagüil, Ing. Jorge Velásquez, MSc. Nery Galdámez, MSc. Mario Díaz, Ing. Agr. Elmer Barillas, por sus enseñanzas compartidas en mi formación profesional.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la vida, por estos años vividos, por la experiencia adquirida, la sabiduría que me ha dado, el amor de los míos, los sueños que me ha brindado, porque nada es lo último ni lo primero, todo está en el mismo grado, son las huellas del pasado, quiero seguir recorriendo el mundo, por todo cuanto me ha dado y por permitirme escribir estas líneas.

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

Al Centro Universitario de Oriente –CUNORI-, por haberme albergado en mis estudios y darme la oportunidad de adquirir conocimientos.

A la Carrera de Agronomía, por la oportunidad de formarme profesionalmente en el campo de las ciencias agrícolas.

Ing. Agr. MSc. José Ramiro García Álvarez por su tiempo, dedicación conocimiento y su valiosa asesoría prestada en el desarrollo del presente trabajo de tesis.

Al Lic. Luis Vásquez, por sus conocimientos y apoyo brindado en el desarrollo de la investigación.

Al Lic. Abner Rodas, Licda. Vilma Ramos, Lic. Marlon Valdez, MSc. César Guzmán, Ing. Agr. Víctor Villalta y al Ing. Agr. Carlos Rivera, Ing. Agr. Mauricio Corado por su amistad y apoyo personal y profesional.

Mis compañeros, por su amistad y ayuda a lo largo de mi carrera y en la ejecución del presente estudio.

## INDICE GENERAL

| Contenido                                                                                      | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. INTRODUCCIÓN                                                                                | 1      |
| 2. MARCO CONCEPTUAL                                                                            | 4      |
| 2.1 Antecedentes                                                                               | 4      |
| 2.2 Justificación                                                                              | 4      |
| 2.3 Definición y delimitación del problema                                                     | 5      |
| 3. MARCO TEÓRICO                                                                               | 7      |
| 3.1 Sustrato                                                                                   | 7      |
| 3.2 Propiedades de los sustratos para la producción forestal                                   | 8      |
| 3.3 Propiedades físicas de los sustratos                                                       | 9      |
| 3.3.1 Granulometría                                                                            | 9      |
| 3.3.2 Porosidad                                                                                | 10     |
| 3.3.3 Porosidad del aire                                                                       | 10     |
| 3.3.4 Agua fácilmente disponible                                                               | 10     |
| 3.3.5 Densidad                                                                                 | 11     |
| 3.3.6 Estructura                                                                               | 11     |
| 3.4 Propiedades químicas de sustratos                                                          | 11     |
| 3.4.1 Capacidad de intercambio catiónico                                                       | 12     |
| 3.4.2 Salinidad                                                                                | 12     |
| 3.4.3 pH                                                                                       | 13     |
| 3.4.4 Relación carbono/nitrógeno                                                               | 13     |
| 3.5 Materiales utilizados como sustratos en la producción de plantas forestales                | 14     |
| 3.6 Producción de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede) y cedro ( <i>C. odorata</i> L.) | 15     |
| 3.7 Taxonomía, morfología y anatomía del cultivo de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)          | 17     |
| 3.7.1 Clasificación taxonómica                                                                 | 17     |
| 3.7.2 Morfología y anatomía                                                                    | 17     |
| 3.8 Origen del Pino                                                                            | 18     |
| 3.9 Requerimientos agroclimáticos                                                              | 19     |
| 3.10 Propagación de plantas de pino                                                            | 19     |
| 3.10.1 Selección de la semilla                                                                 | 19     |
| 3.10.2 Control sanitario                                                                       | 20     |
| 3.11 Taxonomía, morfología y anatomía del cultivo de cedro ( <i>C. odorata</i> L.)             | 20     |
| 3.11.1 Clasificación taxonómica                                                                | 20     |
| 3.11.2 Morfología y anatomía                                                                   | 21     |

|         |                                                                                                                       |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.11.3  | Origen del cedro                                                                                                      | 21 |
| 3.11.4  | Requerimientos agroclimáticos                                                                                         | 22 |
| 3.11.5  | Preparación de plantas de cedro                                                                                       | 22 |
| 3.11.6  | Control sanitario                                                                                                     | 22 |
| 3.12    | Descripción de materiales para elaborar los sustratos                                                                 | 23 |
| 3.12.1  | Tierra volcánica                                                                                                      | 23 |
| 3.12.2  | “Turbas” (peat Moss)                                                                                                  | 23 |
| 3.12.3  | Fibra de coco                                                                                                         | 24 |
| 3.12.4  | Granza de arroz                                                                                                       | 24 |
| 3.12.5  | Carbón vegetal                                                                                                        | 24 |
| 3.12.6  | Pulimiento de arroz “semolina”                                                                                        | 25 |
| 3.12.7  | Cascabillo de café                                                                                                    | 25 |
| 3.12.8  | Melaza de caña                                                                                                        | 25 |
| 3.12.9  | El agua                                                                                                               | 25 |
| 3.12.10 | Abono orgánico “tipo Bocashi”                                                                                         | 25 |
| 3.12.11 | Microorganismos de montaña activados                                                                                  | 26 |
| 4.      | MARCO REFERENCIAL                                                                                                     | 27 |
| 4.1     | Ubicación y descripción del área experimental                                                                         | 27 |
| 4.2     | Características biofísicas del área de estudio                                                                        | 27 |
| 4.2.1   | Clima y zona de vida                                                                                                  | 27 |
| 4.2.2   | Suelos                                                                                                                | 28 |
| 4.3     | Trabajos de investigación relacionados con el tema                                                                    | 28 |
| 5.      | MARCO METODOLÓGICO                                                                                                    | 30 |
| 5.1     | Objetivos                                                                                                             | 30 |
| 5.1.1   | Objetivos generales                                                                                                   | 30 |
| 5.1.2   | Objetivos específicos                                                                                                 | 30 |
| 5.2     | Hipótesis                                                                                                             | 30 |
| 5.3     | Metodología                                                                                                           | 31 |
| 5.3.1   | Diseño experimental                                                                                                   | 31 |
| 5.3.2   | Unidad experimental                                                                                                   | 31 |
| 5.3.3   | Descripción de los tratamientos                                                                                       | 31 |
| 5.3.4   | Variable respuesta                                                                                                    | 33 |
| 5.3.5   | Manejo del experimento                                                                                                | 36 |
| 5.3.6   | Análisis de la información                                                                                            | 40 |
| 5.3.7   | Técnicas a utilizadas para la recolección, análisis e interpretación de datos                                         | 41 |
| 6.      | RESULTADOS Y DISCUSIÓN                                                                                                | 43 |
| 6.1     | Sustratos alternativos                                                                                                | 43 |
| 6.2     | Caracterización física y química de los sustratos alternativos                                                        | 45 |
| 6.3     | Respuesta de la evaluación de sustratos alternativos en la producción de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede) | 53 |
| 6.3.1   | Porcentaje de germinación de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)                                             | 56 |
| 6.3.2   | Altura de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)                                                                | 59 |
| 6.3.3   | Diámetro del tallo de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)                                                    | 66 |

|       |                                                                                                                   |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.3.4 | Materia seca del tallo de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)                                            | 73  |
| 6.3.5 | Materia seca de raíz de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)                                              | 76  |
| 6.3.6 | Calidad de adobe de las plantas de pino producidas en contenedor                                                  | 79  |
| 6.3.7 | Plantas trasplantables de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)                                                       | 83  |
| 6.3.8 | Indicadores para la evaluación de calidad de plantas de pino producidas en los diferentes sustratos               | 86  |
| 6.4   | Respuesta de la evaluación de sustratos alternativos en la producción de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.) | 89  |
| 6.4.1 | Porcentaje de germinación de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.)                                             | 92  |
| 6.4.2 | Altura de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.)                                                            | 95  |
| 6.4.3 | Diámetro del tallo de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.)                                                    | 101 |
| 6.4.4 | Materia seca del tallo de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.)                                                | 105 |
| 6.4.5 | Materia seca de raíz de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.)                                                  | 106 |
| 6.4.6 | Calidad de adobe de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.) producidas en contenedor                         | 109 |
| 6.4.7 | Porcentaje de plantas trasplantables de cedro ( <i>C. odorata</i> L.)                                             | 113 |
| 6.4.8 | Indicadores para evaluar la calidad de plantas de cedro producidas en los diferentes sustratos                    | 115 |
| 6.5   | Análisis financiero de los sustratos alternativos para la especie de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede)            | 121 |
| 7.    | CONCLUSIONES                                                                                                      | 128 |
| 8.    | RECOMENDACIONES                                                                                                   | 131 |
| 9.    | BIBLIOGRÁFICA                                                                                                     | 132 |
| 10.   | ANEXOS                                                                                                            | 135 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Contenido                                                                                                                                                                                                                         | Página |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.     | Conformación de los tratamientos evaluados para la producción de plantas de pino y cedro en contenedor. Chiquimula 2013.                                                                                                          | 32     |
| 2.     | Escala de la calidad de adobe utilizada en la evaluación de sustratos para la producción de plantas de pino y cedro. Chiquimula 2013.                                                                                             | 35     |
| 3.     | Materiales, porcentajes y pesos utilizados en la preparación de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.                                                                                                                         | 44     |
| 4.     | Valores de pH, conductividad eléctrica, densidad aparente y real, contenido de humedad de los materiales utilizados para la elaboración de los sustratos alternativos. Chiquimula 2013.                                           | 45     |
| 5.     | Valores de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación C/N, densidad aparente y real, porosidad y humedad de los tratamientos evaluados. Chiquimula 2013.                                                             | 49     |
| 6.     | Valores obtenidos en el análisis mecánico de las partículas en los tratamientos evaluados. Chiquimula 2013.                                                                                                                       | 50     |
| 7.     | Valores obtenidos de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable y constantes de humedad. Chiquimula 2013.                                                                                            | 51     |
| 8.     | Valores obtenidos del contenido de macro y micronutrientes disponibles, bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases. Chiquimula 2013.                                           | 53     |
| 9.     | Resultados promedio obtenidos de la variable porcentaje de germinación de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013                                           | 54     |
| 10.    | Valores promedio obtenidos de las variable: altura de planta, diámetro del tallo, materia seca del tallo y raíz de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013. | 55     |
| 11.    | Porcentaje de germinación de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), en la evaluación de sustratos alternativos, a los 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                          | 56     |
| 12.    | Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                      | 59     |
| 13.    | Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                      | 60     |
| 14.    | Prueba de medias de Tukey para la variable altura de planta a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                 | 60     |
| 15.    | Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                      | 61     |
| 16.    | Prueba de medias de Tukey para la variable altura de planta a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                 | 62     |
| 17.    | Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 120                                                                                                                                                                  | 64     |

|     |                                                                                                                                                                                                    |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|     | días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                       |    |
| 18. | Prueba de medias de Tukey para la variable altura de planta a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                 | 64 |
| 19. | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                              | 66 |
| 20. | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                              | 67 |
| 21. | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                              | 68 |
| 22. | Prueba de medias de Tukey para la variable diámetro del tallo de la planta a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                   | 68 |
| 23. | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                             | 70 |
| 24. | Prueba de medias de Tukey para la variable diámetro del tallo de planta a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                     | 70 |
| 25. | Análisis de varianza para la variable materia seca del tallo de las plantas de pino en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                | 74 |
| 26. | Prueba de medias de Tukey para la variable materia seca del tallo de las plantas de pino a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                    | 74 |
| 27. | Análisis de varianza para la variable materia seca de la raíz de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013. | 76 |
| 28. | Prueba de medias de Tukey para la variable materia seca de la raíz de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                     | 77 |
| 29. | Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de adobe que sale del contenedor a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                   | 79 |
| 30. | Análisis de varianza para la variable calidad de adobe de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.        | 80 |
| 31. | Prueba de medias de Tukey para la variable calidad de adobe de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede). Chiquimula 2013.                                                                  | 80 |
| 32. | Escala de calidad de adobe utilizada en la evaluación de plantas forestales de pino en contenedor. Chiquimula 2013.                                                                                | 81 |
| 33. | Calidad de adobe para las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes tratamientos. Chiquimula 2013.                                                                | 82 |
| 34. | Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de plantas trasplantables a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                          | 84 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                |     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 35.  | Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas trasplantables de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.            | 84  |
| 36.  | Prueba de medias de Tukey para la variable porcentaje de plantas trasplantables de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en contenedor. Chiquimula 2013.                                                | 85  |
| 37.  | Indicadores de calidad de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                         | 87  |
| 38.  | Resultados promedio obtenidos de la variable porcentaje de germinación de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013.                                           | 90  |
| 39.  | Valores promedio obtenidos de las variables: altura de planta, diámetro del tallo, materia seca del tallo y raíz de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013. | 91  |
| 40.  | Porcentaje de germinación de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), en la evaluación de sustratos alternativos, a los 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                           | 92  |
| 41.  | Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                | 95  |
| 42.  | Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                | 96  |
| 43.  | Prueba de medias de Tukey para la variable altura de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                           | 96  |
| 44.  | Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                | 97  |
| 45.  | Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                               | 98  |
| 46.  | Prueba de medias de Tukey para la variable altura de plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                          | 98  |
| 47.  | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                | 101 |
| 48.. | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                | 102 |
| 49.  | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                | 102 |
| 50.  | Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las                                                                                                                                                                | 103 |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|      | plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
| 51.  | Análisis de varianza para la variable materia seca del tallo de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                          | 105 |
| 52.  | Análisis de varianza para la variable materia seca de la raíz de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                         | 107 |
| 53.  | Prueba de medias de Tukey para la variable materia seca de la raíz de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                             | 107 |
| 54.  | Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de adobe que sale del contenedor a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                                                       | 109 |
| 55.  | Análisis de varianza para la variable calidad de adobe de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                | 110 |
| 56.  | Prueba de medias de Tukey para la variable calidad de adobe de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.). Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                                                                          | 110 |
| 57.  | Escala de calidad de adobe utilizada en la evaluación de plantas forestales de cedro en contenedor. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                                                                                   | 111 |
| 58.  | Calidad de adobe para las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en los diferentes tratamientos. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                                                                        | 111 |
| 59.. | Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de plantas trasplantables de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                            | 113 |
| 60.  | Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas trasplantables de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                       | 114 |
| 61.  | Prueba de media de Tukey para la variable porcentaje de plantas trasplantables de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en contenedor. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                             | 114 |
| 62.  | Indicadores de calidad de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                                     | 116 |
| 63.. | Resumen de las variables evaluadas en los sustratos alternativos, germinación (24 días después de la siembra), altura de plantas, diámetro de plantas, materia seca de tallo, materia seca de raíz, calidad de adobe y plantas trasplantables (120 días después de la siembra), de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede) y cedro ( <i>C. odorata</i> L.). Chiquimula 2013. | 120 |
| 64.  | Costos variables de cada uno de los tratamientos en la producción de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede). Chiquimula 2013.                                                                                                                                                                                                                                    | 122 |
| 65.  | Peso por contenedor, costo por kilogramo de sustrato, costo de sustrato por contenedor, costo de sustrato para 5 contenedores y costo de sustrato por planta de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede).                                                                                                                                                                     | 123 |



|     |                                                                                                                                                                               |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     | Chiquimula 2013.                                                                                                                                                              |     |
| 66. | Rendimiento corregido con base al porcentaje de plantas trasplantables y la prueba de medias de Tukey para las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede). Chiquimula 2013. | 124 |
| 67. | Beneficio bruto, costos variables y beneficio neto de los tratamientos utilizados para la producción de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede). Chiquimula 2013.        | 125 |
| 68. | Análisis de dominancia de los diferentes tratamientos evaluados en la producción de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede). Chiquimula 2013.                            | 126 |
| 69. | Análisis de residuo de los tratamientos evaluados en la producción de plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede). Chiquimula 2013.                                          | 127 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

| Gráfica | Contenido                                                                                                                                                                                          | Página |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.      | Constantes de humedad de los sustratos evaluados a diferentes atmosferas de presión. Chiquimula 2013.                                                                                              | 51     |
| 2.      | Comportamiento del porcentaje de germinación de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los sustratos evaluados 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.    | 58     |
| 3.      | Comportamiento de la altura de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                     | 63     |
| 4.      | Comportamiento de la altura de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                    | 65     |
| 5.      | Comportamiento del diámetro del tallo de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.           | 69     |
| 6.      | Comportamiento del diámetro del tallo de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.          | 71     |
| 7.      | Comportamiento de la altura de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.       | 72     |
| 8.      | Comportamiento del diámetro basal de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013. | 72     |
| 9.      | Comportamiento del rendimiento de materia seca del tallo de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013.                             | 75     |
| 10.     | Comportamiento del rendimiento de materia seca de la raíz de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013.                            | 78     |
| 11.     | Porcentaje de adobe que sale del contenedor de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.                                        | 83     |
| 12.     | Porcentaje de plantas trasplantables de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula                                                                    | 86     |

2013.

|     |                                                                                                                                                                                                            |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13. | Índice de Esbeltez IE para evaluar la calidad de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.        | 87  |
| 14. | Índice de Calidad de Dickson para evaluar la calidad de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013. | 88  |
| 15. | Relación parte aérea/raíz para evaluar la calidad de las plantas de pino ( <i>P. oocarpa</i> Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.    | 89  |
| 16. | Comportamiento del porcentaje de germinación de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en los sustratos evaluados, a los 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.         | 94  |
| 17. | Comportamiento de la altura de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                                | 99  |
| 18. | Comportamiento de la altura de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.                   | 100 |
| 19. | Comportamiento del diámetro basal de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.             | 104 |
| 20. | Comportamiento del rendimiento de materia seca del tallo de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013.                                         | 106 |
| 21. | Comportamiento del rendimiento de materia seca de la raíz de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013                                         | 108 |
| 22. | Porcentaje de adobe que sale del contenedor de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.                                                    | 112 |
| 23. | Porcentaje de plantas trasplantables de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.                                                                          | 115 |

|     |                                                                                                                                                                                                        |     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 24. | Índice de Esbeltez IE para evaluar la calidad de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.        | 117 |
| 25. | Índice de Calidad de Dickson para evaluar la calidad de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013. | 118 |
| 26. | Relación parte aérea/raíz para evaluar la calidad de las plantas de cedro ( <i>C. odorata</i> L.), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.    | 119 |
| 27. | Comparación de los costos variables y beneficio neto de los sustratos evaluados en la producción de plantas de pino en contenedor. Chiquimula 2013.                                                    | 127 |

## RESUMEN

El propósito de este estudio fue evaluar ocho sustratos para la producción de plantas forestales de (*Pinus oocarpa* Schiede) y cedro (*Cedrela odorata* L.), en contenedor a nivel de vivero. Además se busca determinar un sustrato que cumpla con las mejores características para la producción de plantas de buena calidad. El estudio se llevó a cabo en el área experimental de las instalaciones que ocupa el vivero de la carrera de Agronomía, el cual está ubicado dentro del Centro Universitario de Oriente, en el municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula.

Este estudio tuvo como objetivo, generar información que permita disponer de sustratos alternativos para la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.) de calidad, a nivel comercial en el departamento de Chiquimula. Dicho estudio tuvo una duración de 12 meses, tiempo en el cual se caracterizaron los sustratos y se evaluaron los mismos a través de un diseño experimental, utilizando como indicadores el crecimiento y desarrollo de las plantas de pino y cedro en cada uno.

Se evaluaron ocho sustratos y el testigo, los cuales se elaboraron a partir de la mezcla de materiales existentes localmente como: fibra de coco, cascarilla de arroz, cascarilla de maní, cascabillo de café, piedra volcánica, carbón orgánico, abono orgánico Bocashi, semolina, melaza y microorganismos de montaña.

La caracterización física y química de los sustratos se desarrolló mediante análisis en el laboratorio de suelos de CUNORI, el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y el laboratorio de la empresa Soluciones Analíticas, en donde se determinaron características físicas y químicas como: pH, conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica, relación C/N, densidad aparente, densidad real, porosidad total, porcentaje de humedad, textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable, constante de humedad, fertilidad, bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico CIC, porcentaje de saturación de bases. Con el propósito de determinar el sustrato que presenta las propiedades físicas y químicas apropiadas para la producción de plantas forestales en contenedor.

Posterior a la caracterización de los sustratos alternativos, se procedió a evaluar el crecimiento y producción de las plantas de pino en cada uno de los sustratos a nivel de campo utilizando un diseño experimental completamente al azar, determinando las siguientes variables: porcentaje de germinación, altura del tallo, diámetro basal, materia seca del tallo, materia seca de raíz, calidad de adobe y porcentaje de plantas trasplantables. Por último, se realizó un análisis económico utilizando la metodología de presupuestos parciales.

Como resultado de la investigación, se caracterizaron física y químicamente ocho sustratos alternativos y el testigo, determinando a nivel de laboratorio las principales características que definen un sustrato de calidad para la producción de plantas forestales en contenedor. Se encontró que los ocho sustratos (T1 a T8), tienen pH mayor a 7 y alta conductividad (2120 uS/cm a 3530 uS/cm), con una relación C/N de 47 a 69.9, porosidad total del 54.9 a 68.37%, con un alto contenido de macronutrientes como fósforo y potasio y una alta capacidad de intercambio catiónico.

Cada uno de los sustratos se evaluaron en el ensayo de campo, donde se pudo observar que existen sustratos con potencial para ser utilizados en la producción de plantas forestales en contenedor como el pino y cedro, y que entre ellos hay diferencias significativas que permiten escoger la mejor opción desde el punto de vista agronómico y económico. De acuerdo a estos resultados el tratamiento T5 y el tratamiento T1, son los que mejores condiciones brindan para el crecimiento de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede); En cedro (*C. odorata* L.), el tratamiento T1 y el tratamiento T7, son los que mejores condiciones brindan para el crecimiento de las plantas en contenedor. Con estos resultados se ofrece al menos un sustrato para la producción de plantas en contenedor.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala el esfuerzo por desarrollar técnicas de producción de plantas se ha concentrado básicamente durante las últimas décadas en las especies de hortalizas de rápido crecimiento como tomate (*Solanum lycopersicum*), y chile (*Capsicum annum*), los buenos resultados obtenidos para estas especies ocupando contenedores en la etapa de vivero, hacen pensar que también pueden presentar una opción atractiva para la producción de especies forestales.

Una planta producida en vivero está influenciada por una serie de factores, entre ellos la calidad del sustrato, la cual es muy relevante para la producción de plantas, por lo que el manejo de este factor es clave desde el punto de vista fisiológico, como también desde el punto de vista económico.

El estudio tuvo como objetivo, generar información que permita disponer de sustratos alternativos para la producción de plantas de pino (*Pinus oocarpa* Schiede), y cedro (*Cedrela odorata* L.), de calidad, a nivel comercial en etapa de vivero en el departamento de Chiquimula.

Uno de los sustratos más utilizados para la producción de plántulas en el ámbito mundial es la turba de musgo (*Sphagnum peat moss*), sus características físicas, químicas y biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de las plántulas, pero su costo elevado y explotación no sostenible, ha comenzado a restringir su uso.

Esto ha motivado la búsqueda de sustratos alternativos, que permita generar información, para producir plantas de buena calidad, a un bajo costo y principalmente mediante el uso de sustratos hechos a base de materiales orgánicos de excedentes agrícolas disponibles localmente.

Uno de los ejes temáticos abordados en la investigación fue la propuesta de nuevas alternativas de sustratos que contribuyan a incentivar la producción de plantas forestales en la utilización de contenedores, evaluando el crecimiento de la plántulas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), en ocho diferentes sustratos de producción, como también se determinó el sustrato que ofrece las mejores condiciones físicas y químicas para el crecimiento de plántulas se realizó un análisis financiero de los sustratos evaluados para determinar la mejor alternativa.

En la producción de plantas forestales la etapa de crecimiento inicial del pilón es estratégica, ya que es imprescindible un pilón de calidad para obtener una buena producción final de plantas en contenedor. El medio de crecimiento es un factor importante para lograr un pilón de calidad; en el país existe una serie de materiales comúnmente usados en la elaboración de sustratos en vivero.

Todo esto ha llevado a los viveristas a replantearse este aspecto, buscando sustratos alternativos a los comúnmente usados. La búsqueda se orientó básicamente, a materiales que se encuentren en grandes volúmenes y en forma natural, como también de producción artificial o como residuos de algún proceso productivo. Otro factor considerado es el costo que poseen estos materiales y el transporte desde su fuente de origen.

En esta investigación se evaluó el efecto del uso de diferentes sustratos conformados por diferentes materiales, los cuales son: fibra de coco, cascarilla de arroz, cascarilla de maní, cascabillo de café, piedra volcánica, carbón orgánico, abono orgánico tipo Bocashi, semolina, melaza, microorganismos de montaña y agua, los cuales mezclados en diferentes proporciones se utilizaron como sustratos para la producción de planta de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), en contenedor bajo condiciones controladas de una casa forestal (umbráculo) utilizando un diseño experimental completamente al azar para la evaluación en fase campo.

Previo a la fase de campo se prepararon cada uno de los sustratos alternativos y el testigo, a los cuales se les realizó una caracterización física y química, determinando



características de importancia que definen la calidad del medio como: pH, conductividad, porosidad, retención de humedad, contenido nutricional, relación carbono/nitrógeno, entre otros. Luego de conocer las propiedades físicas y químicas de cada uno se evaluaron los sustratos a nivel de campo.

Finalmente, la información generada en la investigación contribuyó a disponer de alternativas para la producción de plantas forestales en contenedor, como alternativas generadas localmente que permitan mantener o mejorar la productividad en los sistemas de producción forestal. Este estudio tuvo una duración de 12 meses, periodo en el cual se caracterizaron los sustratos y se evaluaron los mismos a través de un diseño experimental, para evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas de pino y cedro.

## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Antecedentes**

La necesidad de cumplir con una constante oferta y calidad, ha llevado a que la producción de plantas forestales en contenedor se desarrolle de tal forma que actualmente sea una especialidad por sí misma. De una buena producción de plántulas depende todo el cultivo posterior, por lo que las aplicaciones tecnológicas y el conocimiento técnico en su elaboración son un requerimiento real.

Entre las ventajas de producir especies en contenedor están la mayor precocidad y homogeneidad del cultivo, manejo eficiente de la semilla como insumo y la oportunidad de seleccionar las plantas más aptas para ser establecidas en el campo.

Debido a que estas plántulas se producen en contenedor, el sustrato empleado es un factor fundamental, puesto que determina en gran parte la calidad de la planta. No obstante, debido al alto costo de los sustratos importados, surge la necesidad de disponer de un sustrato producido localmente, estable y de calidad que haga fortalecer e implementar el manejo agroecológico en la producción de plantas forestales de la región.

Esto además de representar un importante ahorro de divisas, evitaría los problemas de diseminación de plagas y enfermedades de una región a otra. Actualmente en la región no existe información científica relacionada con la elaboración de sustratos alternativos para la producción de plantas forestales.

### **2.2 Justificación**

Dentro del área del departamento de Chiquimula, la producción de plántulas en contenedor depende completamente de los materiales tipo Peat Moss, además actualmente no existen alternativas de sustrato para la producción forestal en contenedor. Por tanto el propósito de la investigación es proponer nuevas alternativas de sustratos que contribuyan a incentivar la producción de plantas forestales en la utilización de contenedor.

En Guatemala existe un enorme potencial para la producción de sustratos orgánicos equiparables a las “turbas” Peat Moss comerciales. El enfoque de la investigación es utilizar diferentes sustratos alternativos en la producción de plántulas de pino, utilizando: cascarilla de arroz, abono tipo Bocashi, fibra de coco, cáscara de maní, carbón, piedra volcánica y cascabillo de café, en donde se determina el aporte real como sustrato y el aporte de nutrientes en la propagación de plántulas de alta calidad en condiciones controladas, evaluando el comportamiento de las diferentes variables en la producción de pino y cedro en la fase de plántula, lo cual permita obtener información confiable y de mucha importancia para todos los productores de éste cultivo en la región.

La importancia de realizar la investigación radica en evaluar sustratos alternativos para la producción de plántulas en contenedor, con el propósito de permitir que los productores dispongan de alternativas viables para la producción y reducir los costos de producción al no depender directamente de los sustratos tipo Peat Moss.

Mediante la divulgación de los resultados obtenidos, los productores podrán emprender la implementación de una nueva alternativa tecnológica en la producción agrícola en la región, porque beneficiará la producción de plantaciones forestales, especialmente los cultivos de pino y cedro en el departamento de Chiquimula y otras zonas productoras.

### **2.3 Definición y delimitación del problema**

La producción de plantas forestales en la región oriental de Guatemala ha aumentado en los últimos años, constituyendo el establecimiento de plantaciones forestales en una opción para los agricultores, debido entre otras cosas, a los incentivos proporcionados por el Programa de Incentivos Forestales de Guatemala. La producción se realiza tradicionalmente en bolsas de polietileno, práctica que trae consigo algunos problemas como: altos costos de producción y plántulas de mala calidad. Esto ha motivado el uso de contenedor utilizando exclusivamente la “turba” (Peat Moss) como sustrato para la producción de plantas forestales. Este material es importado principalmente de países

como Canadá y Finlandia, que presentan una disminución considerable de este recurso.

La dependencia de sustratos importados Peat Moss u otra “turbas” también disminuye la rentabilidad y sostenibilidad de la producción de plántulas de pino y cedro en Guatemala. Es necesario implementar otros métodos de producción forestal utilizando materiales disponibles a nivel local, constituyendo opciones agroecológicas aceptables; sin embargo existe falta de información respecto a la utilización de sustratos alternativos para la producción de plántulas forestales en contenedor, por lo que se evaluaron ocho sustratos para la producción de pilones en la especies de pino y cedro .

Con la realización de esta investigación se espera contribuir con los productores de plantas forestales, al proporcionar alternativas agroecológicas con viabilidad técnica y económica.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1 Sustrato**

El término “sustrato”, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que colocado en contenedor de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular. El sustrato puede o no intervenir en el proceso de nutrición de la planta, clasificándolo así en químicamente inerte (perlita, lana de roca, roca volcánica, por ejemplo) y químicamente activo (como lo es la turba, la corteza de pino, el aserrín, fibra de coco, entre otros) (Pastor 2000).

La correcta elección de un sustrato es el resultado de las necesidades que exige el cultivo y todo ello condicionado por las prácticas y técnicas empleadas en cada vivero (por ejemplo: riego, fertilización, control de plagas y enfermedades). No existe un sustrato ideal pues cada combinación del tipo de especie, lugar, contenedor, tipo de manejo y duración del cultivo, puede generar en teoría, requerimientos diferentes al sustrato (Ansorena 1994).

El término sustrato, que se aplica en agricultura, se refiere a todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno (Calderón 2006).

Según Pastor (2000), indica que al contrario de los parámetros físicos, las propiedades químicas pueden resultar modificables mediante técnicas de cultivo adecuadas. Cuando el sustrato es muy ácido ( $\text{pH} < 5.0$ ) o alcalino ( $\text{pH} > 7.5$ ) suelen aparecer síntomas de deficiencia de nutrientes, no debido a su escasez en el medio de crecimiento sino por hallarse de forma química no disponible para la planta (García et al., 2001). Otra propiedad muy importante es la conductividad eléctrica, pues es indicadora por un lado de la “carga nutricional” o disponibilidad inmediata de nutrientes, y por otro, está relacionada con la calidad del agua.

### **3.2 Propiedades de los sustratos para la producción forestal**

Según Burés (1999), indica que el mejor sustrato será aquel que proporcione la máxima cantidad de agua, el mayor volumen de aire, los elementos nutritivos necesarios, el anclaje adecuado para raíces y que, además, no contenga ningún componente que frene el crecimiento de la planta.

Existen muchos materiales que cumplen estas características, en general, la materia orgánica estabilizada tiene las propiedades adecuadas para su uso como sustrato: dispone de poros que retiene agua dentro de las fibras o partículas, poros grandes entre sus partículas que proporcionan aireación, capacidad de retener elementos nutritivos y cederlos a las raíces, y proporcionar un buen anclaje a la planta.

A continuación se mencionan las propiedades a tener en cuenta en los materiales utilizados para fabricar sustratos (García 2006). Granulometría: tamaño medio y distribución del tamaño de partículas. A partículas más grandes, mayor será el contenido de aire y menor el de agua para determinada succión. Relación óptima aire/agua: 3/1.

- Porosidad (mayor a 85 %).
- Capacidad de agua disponible (24 - 40 %).
- Densidad aparente (menor a 0.4 gr/cm<sup>3</sup>).
- Relación C/N y grado de estabilidad de la materia orgánica.
- Capacidad de intercambio de cationes (CIC): 6-15 meq/100gr (24-60 meq/litro).
- pH con efecto importante en la disponibilidad de nutrientes.
- Cantidad y disponibilidad de nutrientes.
- Concentración de sales en la solución acuosa. La salinidad dependerá del tipo de sustrato y del agua de riego. A menor volumen del recipiente, más riesgoso es la acumulación de sales a niveles de toxicidad. Conductividad eléctrica menor a 0.65 mmhos/cm.
- Libre de enfermedades, plagas y malezas.
- Ser fácilmente disponible.
- Bajo costo.

Gallo y Viana, (2005); mencionan que, para determinado sustrato se comporte de manera adecuada, con propiedades físicas y químicas óptimas, es necesario que tenga un correcto reparto y composición de las fases sólidas, líquida y gaseosa. Es necesario que el sustrato combine propiedades físicas y químicas favorables manteniéndolas inalteradas.

### **3.3 Propiedades físicas de los sustratos**

Según Nuez (2001), Las propiedades físicas de los medios de cultivo son importantes, una vez que el medio esté en la bandeja y la planta esté creciendo, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho medio.

Las propiedades físicas más importantes que permiten evaluar la capacidad de un material como sustrato, o comparar diferentes materiales, son:

- Distribución del tamaño de partículas o granulometría
- Porosidad y su reparto entre las fases líquida y gaseosa, es decir: capacidad de retención de agua y porosidad de aire.

Las características físicas de un sustrato que son consideradas en un análisis de rutina, son densidad aparente, porosidad y curva de retención de agua.

#### **3.3.1 Granulometría**

El tamaño de los gránulos o fibras condiciona el comportamiento del sustrato, ya que además de su densidad aparente varía su comportamiento hídrico a causa de su porosidad externa, que aumenta de tamaño de poros conforme sea mayor la granulometría. De la naturaleza y del tamaño de partículas del sustrato dependerán principalmente sus propiedades físicas, como el reparto de aire y agua y la disponibilidad para las raíces.

En sustratos que presentan amplia distribución de tamaños de partículas, las partículas pequeñas se alojan en los huecos entre las partículas grandes, reduciendo su tamaño y por tanto, la porosidad total y la ocupada por aire. Al mismo tiempo, aumentará la cantidad de agua retenida, al ser mayor el número de microporos. En consecuencia, las

propiedades físicas de los sustratos dependen en gran medida de la distribución de los tamaños de partícula, por lo que modificando o seleccionando adecuadamente el tamaño de partícula, se pueden alcanzar propiedades físicas óptimas (Gallo y Viana, 2005).

### **3.3.2 Porosidad**

Es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, y por tanto, lo estará por aire o agua en una cierta proporción. Su valor óptimo no debería ser inferior al 80-85%, aunque sustratos de menor porosidad pueden ser usados ventajosamente en determinadas condiciones.

Según Nuez (2001), el total de poros existentes en un sustrato se divide entre: 1) Poros capilares de pequeño tamaño ( $< 30 \mu\text{m}$ ), que son los que retienen el agua y 2) Poros no capilares o macroporos, de mayor tamaño ( $> 30 \mu\text{m}$ ), que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado. Sin embargo, los poros no drenados completamente y una fina película de agua es retenida alrededor de las partículas del sustrato.

### **3.3.3 Porosidad del aire**

La porosidad de aire (pa) es la propiedad física más importante de los sustratos. Los valores de (pa) necesarios dependen mucho de la especie cultivada, ya que la sensibilidad de las plantas a la aireación es variable. Además dependen del método de medida utilizado y de las condiciones ambientales y de manejo.

El contenido de aire de un sustrato es definido como la proporción del volumen que contiene aire después de que ha sido saturado con agua y dejado drenar. La porosidad de aire consiste en el porcentaje de volumen de sustrato que contiene aire. El valor que se aconseja como óptimo oscila entre el 10 y el 30 %, (Gallo y Viana 2005).

### **3.3.4 Agua fácilmente disponible**

Según Nuez (2001), es la diferencia entre el volumen de agua retenido por el sustrato, después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial



y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm. El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20 y el 30% del volumen.

### **3.3.5 Densidad**

La densidad de un sustrato se puede referir bien a la del material sólido que lo compone, entonces se habla de densidad real, o bien a la densidad calculada considerando el espacio total ocupado por los componentes sólidos más el espacio poroso, y se denomina porosidad aparente.

La densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo. Los valores de densidad aparente se prefieren bajos y que garanticen una cierta consistencia de la estructura (INFOAGRO 2010).

### **3.3.6 Estructura**

Puede ser granular como la mayoría de los sustratos minerales o bien fibrilares. La primera no tiene forma estable, acoplándose fácilmente a la forma de la bandeja, mientras que la segunda dependerá de las características de las fibras. Si son fijadas por algún tipo de material de cementación, conservan formas rígidas y no se adaptan al recipiente pero tienen cierta facilidad de cambio de volumen y consistencia cuando pasan de secas a mojadas (INFOAGRO 2010).

## **3.4 Propiedades químicas del sustrato**

La reactividad química de un sustrato se define como la transferencia de materia entre el sustrato y la solución nutritiva que alimenta las plantas a través de las raíces. Esta transferencia es recíproca entre sustrato y solución de nutrientes y puede ser debida a reacciones de distinta naturaleza.

Según Gallo y Viana (2005), mencionan que las propiedades químicas más importantes de los materiales que componen un medio de crecimiento son:

- Capacidad de intercambio catiónico
- pH
- Capacidad tampón
- Contenido de nutrientes
- Relación C/N

### **3.4.1 Capacidad de intercambio catiónico**

Según Nuez (2001), define la capacidad de intercambio catiónico como la suma de los cationes cambiables que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixivante del agua y están usualmente disponibles para la planta.

La capacidad de los sustratos orgánicos para adsorber cationes metálicos depende del pH, cuando más alto es el pH, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico. Para una turba rubia, la capacidad de intercambio catiónico se incrementa desde 50 hasta 100 meq/100 gr, cuando el pH aumenta desde 3.5 hasta 5.5.

### **3.4.2 Salinidad**

La cantidad excesiva de sales en la mezcla de propagación o cultivo o en el agua de riego (más de 0.75 mmhos/cm) puede reducir el crecimiento de las plantas, quemar el follaje o hasta matar las plantas. Los programas de fertilización también contribuyen a la acumulación de sales.

La sobre fertilización produce rápidamente síntomas de salinidad, empezando con el marchitamiento del follaje y de las puntas así como quemaduras de los márgenes de las hojas. Para impedir la acumulación de sales, periódicamente se deben lixiviar con agua los contenedores (Hartmann, Kester y Davdes 1990).

La salinidad de una solución acuosa se mide por su contenido en sales disueltas (mg/l o ppm), comúnmente por su capacidad para conducir la corriente eléctrica o conductividad (en miliSiemens por cm, (mS/cm), o microSiemens por cm, ( $\mu$ S/cm)) (Gallo y Viana 2005).

### **3.4.3 pH**

En sustratos orgánicos, el rango óptimo de pH para el crecimiento de plantas está entre 5,0 y 5,5, lo que no excluye que no puedan crecer satisfactoriamente fuera de ese intervalo (Gallo y Viana 2005).

El pH óptimo para la producción de plantas de coníferas (principalmente pinos) es de 5.5, en tanto que para latifoliadas, un pH óptimo oscila entre 6.0 a 6.5. Muchos viveros de nuestro país tienen agua de riego con pH por arriba de estos valores. Aunque en la escala normal de pH, que va de 0 a 14, el valor de 7 se considera neutro, en la producción de plantas este valor ya se considera alcalino. El agua de riego con pH alcalino puede provocar precipitación de calcio, magnesio y hierro, lo que a su vez, puede provocar el taponamiento de los aspersores. El agua con pH alcalino puede limitar la disponibilidad de algunos elementos esenciales, particularmente del hierro (Toral, Campos, Fratti y Valera 2000).

### **3.4.4 Relación carbono/nitrógeno**

Esta relación indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno. Prácticamente la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un sustrato es biodegradable y por tanto disponible. Con el carbono orgánico ocurre lo contrario ya que una gran parte se encuentra en compuestos no biodegradables que impiden su disponibilidad.

El rango óptimo en los sustratos orgánicos es de 30 kg de N por 1 kg de C. Los excesos de cualquiera de los dos componentes conllevan a una situación de carencia. Si el sustrato es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la fermentación será lenta, las temperaturas no serán altas y el carbono se perderá en forma de dióxido de carbono. Para el caso contrario, en altas concentraciones relativas de nitrógeno, éste se transformará en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica (Ambientum 2006).

### **3.5 Materiales utilizados como sustratos en la producción de plantas forestales**

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos utilizados en la producción de pilones, los cuales se clasifican según el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación (INFOAGRO 2010).

A continuación se detallan los más utilizados, de acuerdo a sus propiedades.

- Sustratos químicamente inertes. Arena granítica o silíceo, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.
- Sustratos químicamente activos. Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, etc.

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato.

Los sustratos químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante. Los sustratos químicamente activos sirven de soporte a la planta pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal, (INFOAGRO 2010).

#### **Según el origen de los materiales**

##### **a. Materiales orgánicos**

- ✓ De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas).
- ✓ De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poliestireno expandido).
- ✓ Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de cereales, fibra de coco, orujo de uva, cortezas de árboles, aserrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales).

## **b. Materiales inorgánicos o minerales**

- ✓ De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.).
- ✓ Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.).
- ✓ Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.) (INFOAGRO 2010).

### **3.6 Producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.).**

La producción de plantas forestales en la región oriental ha tenido un incremento considerablemente en los últimos años, en cuanto a la deforestación ésta ha aumentado por las malas prácticas previas a la siembra principalmente. Se tiene como referencia datos de Instituto Nacional de Bosques (INAB) donde se indica que Guatemala cuenta con 33,556.25 Km<sup>2</sup> de tierras con aptitud preferentemente forestal pero desprovistas de bosque donde se considera que el 20.4% corresponde a la región Nor-oriental del país.

Dentro de la producción forestal se encuentran varios beneficios por parte del Gobierno de Guatemala, siendo este un ente impulsador para incentivar la producción forestal dentro del territorio guatemalteco. Los programas de incentivos como y el PINFOR han tenido una amplia cobertura geográfica con plantaciones en las nueve regiones del país. La región del Nor-Oriente, constituye el área donde se han establecido los cuatro programas de reforestación y posee la mayor extensión de plantaciones con 24,283 hectáreas.

Chiquimula, gracias a su origen geológico, su situación geográfica, su diversidad de climas, suelo, topografía, tiene una gran diversidad de ecosistemas y especies forestales, sus distintos ecosistemas forestales varían, incluyendo bosques secos y muy

secos, hasta diversos bosques de coníferas y bosques nubosos. De acuerdo con el estudio de capacidad de uso de la tierra elaborado por el INAB en el año 2002 se estima que el 55.8% del territorio de Chiquimula tiene una aptitud preferentemente forestal y el 47.3% forestal productiva.

Según al mapa de cobertura forestal elaborado por el SIG Chiquimula la superficie forestal del departamento es de 49,924.78 Ha de las cuales el 76.51% corresponde a bosque de coníferas, el 21.81% a bosque de latifoliadas, el 1.21% del área son bosques mixtos; el 0.03% es de plantaciones de coníferas y el 0.37% de plantaciones de latifoliadas (SIAM 2012).

Los agricultores que actualmente se dedican a plantar árboles forestales, al momento de adquirir las plántulas corren el riesgo de que el mismo sea de mala calidad, que la plántula no sea certificada y que durante el transporte de un lugar a otro cause daños mecánicos a las plantas, por lo tanto la utilización de semillas certificadas ha venido a ser de gran beneficio a los productores, ya que existen bancos de semillas certificadas en el país, provenientes de rodales semilleros registrados, ha traído consigo la especialización, el mejoramiento y la tecnificación de los viveros forestales. Es así como, hoy en día, las empresas gubernamentales y no gubernamentales, dedicadas a la producción de plántulas forestales, se interesan en proveer plantas de calidad, debido a que las semillas son sembradas en sustratos, dentro de invernaderos forestales, lo que permite un mayor control de la humedad, temperatura y luminosidad. Por lo tanto, el uso de contenedores trae consigo un ahorro de mano de obra y facilita la mecanización del trasplante.

### **3.7 Taxonomía, morfología y anatomía del cultivo de pino (*Pinus oocarpa* Schiede).**

#### **3.7.1 Clasificación taxonómica**

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| Reino:        | Plantae                      |
| División:     | Pinophyta                    |
| Subdivisión:  | Pinicae                      |
| Clase:        | Pinopsidae                   |
| Orden:        | Pinales                      |
| Familia:      | Pinaceae                     |
| Género:       | Pinus                        |
| Especie:      | <i>Pinus oocarpa</i> Schiede |
| Nombre común: | Pino colorado, ocote         |

#### **3.7.2 Morfología y anatomía**

Es un árbol de importancia en el país que alcanza alturas considerables en buen suelo, hasta 40 m y más, en suelos pobres o malos puede tener un desarrollo no más de 25 m. La altura del árbol esta en estrecha relación con el diámetro y clase de sitio. Es notable la diferencia que existe o encontradas en las dimensiones de esta especie al hacer comparaciones con las descripción de otros autores, referente a la copa siendo esta variable, tanto en su forma como en la densidad. Encontrándose procedencias de esta especie con copas de poca densidad, esparcidas, con ramas finas y otras copas redondeadas y densas; en sitios de mayor humedad el follaje es más denso y de color más oscuro.

Las ramas son generalmente gruesas y extendidas, pero se encuentran también con ramas finas a las cuales hay que darle preferencia en la recolección de semilla al marcarse los árboles padres para la regeneración natural. Las ramillas nuevas suele tener colores café-violáceos, ásperos al principio y después escamosos; desaparece la aspereza debido a la caducidad de la base de las brácteas.

La corteza es agrietada con placas longitudinales, de color gris hasta café-grisáceo y en la parte inferior entre las escamas, de color amarillo café-rojizo.

Las hojas en general son cinco por fascículo pero se pueden encontrar de cuatro, siendo esta variación atribuida a algunas variedades y no a la especie tipo. El largo de las hojas oscila entre 17-29 cm, generalmente entre 22 a 26 cm, siendo las hojas ásperas y gruesas, el espesor de la hoja puede ser de 0.7 a 1.0 mm.

Las flores masculinas son largamente cilíndricas de color amarillo y las femeninas son sub-terminales de color azul, generalmente la floración es entre los meses de diciembre a febrero, siendo estos conillos sub-terminales, sub-globulados sobre pedúnculos relativamente largos, el cual es escamoso.

Los conos son perennes y escamosos, quedando mucho tiempo sobre las ramas después de la semillación, los conos se caracterizan por que abren sus escamas a un mismo tiempo. La forma varía de anchamente ovoide u ovoidecónicos o globulosos, siendo estos de varios tamaños, fuerte y pesados. Los tamaños son de 6 a 9.6 cm de largo y de 6.6 a 7.6 cm de ancho. La semilla es pequeña de unos 6-7 mm de largo, con ala de 10.16 mm de largo de color café-oscuro.

El pino *Pinus oocarpa* Schiede, puede resistir la sequía y el fuego, así con crecer en suelos muy pobres, el cual presenta un interés particular como especie para ser plantado en áreas tropicales que tiene temporada seca, tolera suelos mal drenados, pero no puede adaptarse en suelos con pH altos derivados de cal.

### **3.8 Origen del pino**

Nativa de México y Centroamérica, árbol mediano de 12 a 18 m, con diámetro normal de 40 a 75 cm, planta perennifolia, el comienzo de la floración se da en los meses de noviembre, generalmente ocurre en 26 meses después de la polinización, de enero a marzo, las semillas se encuentran maduras de febrero a marzo. La apertura de los conos se ve favorecida por la ocurrencia de las altas temperaturas debido a que son serotimos.



### **3.9 Requerimientos agroclimáticos**

**Suelo:** Leptosol y Podsol

Características físicas: profundidad somera, textura arenosa, con buen drenaje, color marrón-rojizo.

**Características químicas:** El pH puede ser ácido hasta neutro de 4.5 a 6.8. En cuanto a materia orgánica debe tener una capa de material orgánico de 10 a 15 cm de profundidad.

**Temperatura:** media 19 °C, mínima 3 °C, máxima 45 °C.

**Altitud:** media 1,800 msnm, altitud mínima 1,000 msnm, altitud máxima 2,400 a 3,000 msnm.

**Precipitación:** media 1,300 mm, mínima 650 mm, máxima 2600 mm.

### **3.10 Propagación de plantas de pino**

#### **3.10.1 Selección de la semilla**

La selección se puede realizar por diferentes métodos, una vez que ha concluido el proceso de limpieza, las semillas llenas son seleccionadas por tamaños, utilizando la flotación por aire o cajas especiales con diferentes tamaños de apertura.

**Porcentaje de pureza obtenido:**

De 90 a 99%.

**Número de semillas por kilogramo:**

De 41,000 a 65,000 semillas.

**Viabilidad**

90%.

**Porcentaje de germinación obtenido:**

Mayor al 80%.

**Tiempo necesario para la germinación de las semillas:**

Inicia a los 7 días después de la siembra y finaliza a los 17 días.

### **3.10.2 Control sanitario**

#### **a. Principales plagas y enfermedades**

Los principales problemas se tienen con los hongos que causan el mal del semillero “damping-off”, como son fusarium, phytophthora, pythium, rhizoctonia, etc. Se recomienda aplicar riegos acidulando el agua con ácido sulfúrico, o bien reduciendo la densidad de la plantación.

#### **b. Labores culturales**

Riego:

Durante el proceso de germinación y trasplante el riego debe ser diario, posteriormente el régimen de riego se realiza cada tercer día hasta que las plántulas alcancen 20 cm de altura.

Fertilización:

Se recomienda aplicar fertilizantes foliares en dosis 20-20-20 (N-P-K) cada quince días, en tres ocasiones. También es recomendable aplicar fertilizantes de liberación lenta (pico módulos 30-15-10); además de micorrizas. La aplicación de esporas al sustrato puede ser a través del riego, o con la adición de raíces jóvenes de pino, maceradas.

### **3.11 Taxonomía, morfología y anatomía del cultivo de cedro (*Cedrela odorata* L)**

#### **3.11.1 Clasificación taxonómica**

|               |                          |
|---------------|--------------------------|
| Reino:        | Plantae                  |
| División:     | Magnoliophyta            |
| Clase:        | Magnoliosidae            |
| Orden:        | Sapindales               |
| Familia:      | Meliaceae                |
| Género:       | Cedrela                  |
| Especie:      | <i>Cedrela odorata</i> L |
| Nombre común: | Cedro                    |

### **3.11.2 Morfología y anatomía**

Es un árbol de mediano a grande de 12 a 60 metros de altura y con un diámetro a la altura del pecho de 60 cm a 2.5 metros. Su copa es ancha y redonda, con ramificaciones gruesas. Su fuste recto, cilíndrico y con contrafuertes en la base. La corteza externa amarga y de color rojizo, profundamente fisurada. Las hojas compuestas, alternas paripinnadas y grandes, hasta de 1 metro de largo. Peciolos de 8-10 mm de largo, delgados, foliolos de 10-30 opuestos, comúnmente de 4.5 a 14 cm de largo y 2.0 a 4.5 cm de ancho, largamente acuminados en la base de un lado anchamente redondeados y por el otro agudo.

Las flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia, colocadas en panículas terminales o axilares, el cáliz esparcidamente puberulento, los lóbulos agudos, pétalos oblongos de color crema verdoso, 5 a 6 mm de largo, agudos u obtusos. Frutos en cápsulas con dehiscencia longitudinal que se abre en cinco carpelos, 4 a 7 cm de largo, es leñoso, color café oscuro, el fruto se desprende una vez liberadas las semillas; en estado inmaduro, poseen un color verde y al madurar se tornan café oscuro. Contiene un exudado blanquecino, con fuerte olor a ajo antes de madurar. Tiene de 20 a 25 semillas pequeñas y alargadas.

Las semillas aladas, color pardo, elípticas, miden 1.2 a 4.0 cm de largo y entre 5 a 8 mm de ancho, con la parte seminal hacia el ápice del fruto; la testa es de color castaño rojizo; el embrión es recto, comprimido, color blanco o crema y ocupa gran parte de la cavidad de la semilla, tiene dos cotiledones grandes, planos, foliáceos, frondosos, ligeramente ovoides, la radícula es corta e inferior, estas semillas presentan una delgada capa de endospermo.

### **3.11.3 Origen del cedro**

Es originario de América Central, se le encuentra mayormente en México, Brasil, Caribe, Venezuela, Colombia y Perú. El género *Cedrela* comprende 7 especies repartidas en América tropical.

#### **3.11.4 Requerimientos agroclimáticos**

**a. Suelo:** suelos de origen volcánico

**Características físicas:** suelos fértiles, con buen drenaje, aunque tolera prolongados períodos de sequía.

**Características químicas:** el pH de 5.5 a 7.

**b. Temperatura:** 13 a 26°C.

**c. Altitud:** 100 – 1400 msnm.

**d. Precipitación:** 750 – 3700 mm anuales.

#### **3.11.5 Propagación de plantas de cedro**

**Semilla:** Las semillas se producen una vez cada año, entre los meses de agosto y septiembre, lo que coincide con la época final de vientos. Las semillas de cedro al ser muy livianas, son dispersadas fácilmente por el viento a grandes distancias.

#### **Porcentaje de pureza obtenido**

De 40 a 70%.

#### **Número de semillas por kilogramo**

De 15,000 a 69,000 semillas.

#### **Viabilidad**

80%.

#### **Porcentaje de germinación obtenido**

Mayor a 85%.

#### **Tiempo necesario para la germinación de las semillas**

Inicia a los 7 días después de la siembra y finaliza a los 20 días.

#### **3.11.6 Control sanitario**

##### **a. Principales plagas y enfermedades**

La broca del cedro o mariposa de los brotes provocada por la especie *Hypsipyla grandella* es el patógeno más importante para la especie, ya que contribuye un factor limitante para su cultivo. Daña la yema terminal de las plántulas desde los 2 años hasta árboles de 10 – 20 años. El control puede hacerse: físico a través de trampas luminosas

al principio de la estación de lluvias, cultural con la eliminación de las ramas atacadas y biológicas utilizando algunos parasitoides de los huevos de las orugas.

### **Labores culturales**

Riego:

Durante el proceso de germinación y trasplante el riego debe ser diario, posteriormente el régimen de riego se realiza cada tercer día hasta que las plántulas alcancen 20 cm de altura, disminuir el riego durante el último mes de permanencia en el vivero para rustificarla.

Fertilización:

La fertilización en vivero se realiza sólo si es necesario al aparecer síntomas de deficiencia o si se desea acortar el tiempo de producción. El cedro responde bien al fertilizante con la formula 15-15-15

## **3.12 Descripción de materiales para elaborar los sustratos**

### **3.12.1 Tierra volcánica**

Son materiales de origen volcánico que se utilizan sin someterlos a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación. Están compuestos de sílice, alúmina y óxidos de hierro. También contiene calcio, magnesio, fósforo y algunos oligoelementos. Las granulometrías son muy variables al igual que sus propiedades físicas. El pH de las tierras volcánicas es ligeramente ácido con tendencias a la neutralidad. La capacidad de intercambio cationico CIC, es tan baja que debe considerarse como nulo. Destaca su buena aireación, la inercia química y la estabilidad de su estructura. Tiene una baja capacidad de retención de agua, el material es poco homogéneo y de difícil manejo (INFOAGRO 2010).

### **3.12.2 “Turbas” (Peat Moss)**

Las turbas son materiales importados de Canada u otros países, estos materiales son de origen vegetal, de propiedades físicas y químicas variables en función de su origen. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas, las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica.

Las turbas rubias tiene un buen nivel de retención de agua y de aireación, pero muy variable en cuanto a su composición ya que depende de su origen. La inestabilidad de su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfiere en la nutrición vegetal, presentan un pH que oscila entre 3,5 y 8,5. Se emplea en la producción ornamental y de plántulas hortícolas en semilleros (INFOAGRO 2010).

### **3.12.3 Fibra de coco**

Este producto se obtiene de fibras de coco. Tiene una capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, un pH ligeramente ácido (6.3- 6.5) y una densidad aparente de 200 kg/m<sup>3</sup>. Su porosidad es bastante buena y debe ser lavada antes de su uso debido al alto contenido de sales que posee (INFOAGRO 2010).

### **3.12.4 Granza de arroz**

La cascarilla de arroz se utiliza fundamentalmente con grava, ya que esta es muy liviana y su capacidad de retención de humedad es baja, con un 40% ya mezclada. La principal función de ésta es favorecer la oxigenación del sustrato. Sí se utiliza la cáscara de arroz es recomendable hacerlo con un proceso de desinfección química con el fin de eliminar partículas pequeñas, así como hongos, larvas de insectos u otro microorganismo que pueda ocasionar contaminación (Hydro Euroment 2012).

### **3.12.5 Carbón vegetal**

El carbón vegetal molido ayuda a esponjar y alivianar los sustratos. También absorbe las toxinas excretadas por los vegetales. La ceniza es rica en K y sales minerales, también contiene Ca, Fe y Mg, elementos que ayuda al crecimiento saludable de las plantas. El pH de las cenizas es de 4.5 a 6, lo que la hace levemente ácida. Se recomienda su uso limitado ya que en cantidad alta apelmazan el suelo evitando la oxigenación del mismo (Baobab Sustratos 2012).

### **3.12.6 Pulimiento de arroz “semolina”**

Favorecen la fermentación de los abonos incrementada por la presencia de vitaminas en la pulidora de arroz. Aporta nitrógeno, fósforo, calcio, potasio y magnesio (INFOAGRO 2010).

### **3.12.7 Cascabillo de café**

Los datos indican que la proteína de la pulpa de café contiene niveles similares o más altos de aminoácidos que otros productos, como la harina de algodón y la harina de soya. Por otro lado, la pulpa de café muestra concentraciones generalmente más alta de aminoácidos que el maíz pero es deficiente en los aminoácidos azufrados. Es de interés hacer notar el contenido relativamente alto de lisina en la pulpa, el cual es tan alto como el de la harina de soya cuando se expresa como mg/g de nitrógeno (INFOAGRO 2010).

### **3.12.8 Melaza de caña**

Es la principal fuente energética para la fermentación, favorece y multiplica la actividad microbiológica, es rica en potasio, calcio y magnesio, contiene gran cantidad de boro (INFOAGRO 2010).

### **3.12.9 El agua**

Tiene la finalidad de homogenizar la humedad de todos los ingredientes que componen el abono y propicia las condiciones ideales para el buen desarrollo de la actividad y reproducción microbiológica durante todo el proceso de la fermentación cuando se están fabricando los abonos orgánicos. Tanto la falta de humedad como su exceso, son perjudiciales para la obtención final de un buen abono orgánico fermentado.

### **3.12.10 Abono orgánico “tipo Bocashi”**

La elaboración del abono tipo Bocashi se basa en procesos de descomposición aeróbica de los residuos orgánicos y temperaturas controladas a través de poblaciones de microorganismos existentes en los propios residuos, que en condiciones favorables producen un material parcialmente estable de lenta descomposición. Su composición puede variar considerablemente y se ajusta a las condiciones y materiales existentes en

la comunidad, es decir, no existe una fórmula fija para su elaboración. Entre los utilizados en CUNORI están: hojarasca, estiércol bovino, cascarilla de arroz, semolina, melaza de caña, agua.

#### **3.12.11 Microorganismos de montaña activados**

La tecnología de los microorganismos de montaña (MM), es una tecnología relativamente nueva que permite acelerar los procesos de compostaje, entre otras cosas. Son microorganismos descomponedores que actúan como aceleradores de los procesos fermentativos de la materia orgánica, permitiéndole a esta que se transforme en abono orgánico rico en poco tiempo y evitando que ocurran los procesos de putrefacción y desintegración de la materia orgánica, con la consecuencia de la emanación de malos olores. Se trata de reproducir los microorganismos naturalmente presentes en el mantillo del bosque primario, activarlos e inocularlos al compost. Los microorganismos más comúnmente utilizados durante este proceso son hongos como las Micorrizas y Trichoderma, así como también bacterias de los géneros Azotobacter y Bacillus subtilis.



## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1. Ubicación y descripción del área experimental**

El área experimental se estableció en las instalaciones que ocupa el Vivero de la Carrera de Agronomía, el cual está ubicado dentro del Centro Universitario de Oriente – CUNORI-, en el municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula.

Geográficamente el vivero se encuentra a una latitud norte de 14° 07' 58'' y una longitud oeste de 89° 31' 05'', con una elevación de 402 msnm, a 169 km de la ciudad capital de Guatemala. Con una extensión de 5,600 metros cuadrados de relieve plano a ondulado.

### **4.2. Características biofísicas del área de estudio**

#### **4.2.1. Clima y zona de vida**

Según los registros de la estación climatológica del CUNORI, la temperatura máxima anual es de 39° C, una mínima de 16.3° C y una temperatura media anual de 27.6° C; con una precipitación media anual de 763 mm. La humedad relativa se estima en 60 % en verano y de 75 % en la época lluviosa.

Según de la Cruz (1976) de acuerdo a la clasificación de Holdridge, el área del vivero pertenece a la zona ecológica Monte Espinoso Subtropical. Dentro de esta zona se tiene una precipitación anual entre 500 a 1000 mm, la elevación varía entre 180 y 400 msnm, la temperatura oscila entre los 24 y 36 °C grados, la vegetación natural está constituida mayormente por arbustos y plantas espinosas.

Los suelos son homogéneos en lo que respecta a profundidad y textura, encontrándose normalmente suelos poco profundos con una textura mediana, en cuanto a las proporciones de arena, limo y arcilla. En esta zona predominan los cultivos de maíz, frijol y tomate.

#### **4.2.2. Suelos**

Según Simmons, Tarano y Pinto (1959), el suelo del vivero está desarrollado sobre materiales sedimentarios y metamórficos, de textura arcillosa en una parte y franco arcillosa en otra. Asimismo, posee una topografía plana ligeramente ondulada.

#### **4.3. Trabajos de investigación relacionados con el tema**

##### **a. Evaluación de sustratos para la producción forestal pino (*P. oocarpa* Shiede)**

Aldana y Aguilera (2003), realizaron evaluaciones de producción de plantas en contenedor, ensayando diferentes materiales como medios de crecimiento. El objetivo de buscar sustratos alternativos es reducir las importaciones de musgo Peat moss y utilizar materiales locales buenas características para la producción de plantas de calidad. Una de las mezclas que ha dado excelentes resultados es la de Peat moss y corteza de pino compostada. Aunque hay buenas experiencias con la utilización del 100% de corteza, consideramos que la mezcla 50% Peat moss y 50% corteza de pino compostada, presenta las mejores condiciones (porosidad, consistencia, retención de humedad, etc.). Para el cultivo de especies forestales en contenedor (principalmente coníferas) y en particular al tipo de contenedor que se emplea mayormente.

Maldonado (2010), realizó una investigación para determinar que características estructurales y fisiológicas deben presentar las plántulas en vivero, por lo cual fueron utilizados subproductos de la industria maderera útiles como sustratos, para producir plantas en vivero; así como sustancias acondicionadoras para mejorar la humedad disponible a la planta. Por esta razón se evaluó el efecto de mezclas de diversos materiales que conformaron los diferentes sustratos y cuatro niveles de riego para la producción de (*Pinus greggii* Engelm) en vivero. Se utilizó un diseño de parcelas divididas. Se estudiaron 10 mezclas de sustratos compuestas por aserrín, corteza de pino, turba, agrolita y vermiculita. El efecto de los tratamientos no presentó significancia en las plántulas llevadas a campo definitivo.

#### **b. Evaluación de sustratos para la producción forestal cedro (*C. odorata* L.)**

Mateo (2011), efectuaron una investigación para producir plantas en vivero de buena calidad se emplean sustratos comerciales (peat moss-agrolita-vermiculita), cuyo costo es muy elevado, lo cual es una limitante para su utilización, pues reduce significativamente los márgenes de utilidad; por lo anterior se necesita buscar sustratos alternativos. El aserrín de pino es un subproducto de la industria forestal barato y disponible en áreas forestales. En los últimos años se ha utilizado como sustrato generando buenos resultados. En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes mezclas de aserrín de *Pinus sp* sobre el crecimiento de plantas de *Cedrela odorata* L. (Cedro rojo), producidas con el sistema tecnificado en vivero forestal cubierto con malla sombra. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar donde se estudiaron once combinaciones a base de aserrín + la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita en proporciones que variaron desde cero % hasta 100% de aserrín y la mezcla de sustratos comerciales. A los tres meses y medio de edad las plántulas que se desarrollaron en el sustrato con las mezclas empleadas se midieron y calcularon las variables necesarias.

## **5. MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1. Objetivos**

#### **5.1.1. Objetivo general**

- Generar información que permita disponer de sustratos alternativos para la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), de calidad a nivel de vivero en el departamento de Chiquimula.

#### **5.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar el sustrato que ofrece las mejores características físicas y químicas para la producción de plantas de (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), en contenedor a nivel de vivero.
- Evaluar el crecimiento de las plántulas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), en los nueve sustratos para determinar la mejor alternativa de producción.
- Determinar la mejor alternativa desde el punto de vista financiero a través del análisis financiero de los sustratos evaluados.

### **5.2 Hipótesis**

- Al menos uno de los tratamientos evaluados, presenta diferencia estadística significativa en la altura de plantas de pino y cedro.
- Al menos uno de los tratamientos evaluados, presenta diferencia estadística significativa en el diámetro del tallo de plantas de pino y cedro.
- Al menos uno de los tratamientos evaluados, presenta diferencia estadística significativa en la materia seca de la parte aérea de las plantas de pino y cedro.
- Al menos uno de los tratamientos evaluados, presenta diferencia estadística significativa en la materia seca de raíces de las plantas de pino y cedro.

- Al menos uno de los tratamientos evaluados, presenta diferencia estadística significativa en la calidad de adobe de pino y cedro.
- Al menos uno de los tratamientos evaluados, presenta diferencia estadística significativa en el porcentaje de plantas trasplantables de pino y cedro.
- Al menos uno de los tratamientos evaluados, presenta diferencia estadística significativa en el rendimiento de las plantas de pino y cedro.

### **5.3 Metodología**

#### **5.3.1 Diseño experimental**

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con nueve tratamientos/sustratos, con cinco repeticiones cada uno. El modelo estadístico a utilizado es el siguiente:

$$Y_{ij} = U + \alpha_i + \xi_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta de la  $ij$ -ésima unidad.

$U$  = Efecto de la media general

$\alpha_i$  = Efecto de los tratamientos

$\xi_{ijk}$  = Error experimental asociado a la  $ijk$ -ésima unidad experimental.

' $i$ ' = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, tratamientos

' $j$ ' = 1, 2, 3, 4, 5, repeticiones

#### **5.3.2 Unidad experimental**

La unidad experimental estuvo conformada por un contenedor de policloruro de vinilo negro de 24 celdas, con un volumen de 178 cc/celda, la parcela neta del experimento tiene 24 individuos (plantas) de los cuales ocho individuos fueron muestreados, la razón de analizar, ocho individuos los cuales fueron los del centro del contenedor, fue para evitar el efecto de borde.

#### **5.3.3. Descripción de los tratamientos**

Un tratamiento está conformado por la mezcla homogénea de uno o más materiales, como se muestra en el cuadro 1, donde se puede observar los diversos porcentajes de los materiales que constituyeron los tratamientos.

Cuadro 1. Conformación de los tratamientos evaluados para la producción de plantas de pino y cedro en contenedor. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Materiales                                                                                      | Porcentaje                             |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>T 0</b>  | Peat moss                                                                                       | 100%                                   |
| <b>T 1</b>  | Fibra de coco<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono orgánico*<br>Semolina                   | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        |
| <b>T 2</b>  | Fibra de coco<br>Piedra Volcánica<br>Carbón<br>Abono orgánico*<br>Semolina                      | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        |
| <b>T 3</b>  | Peat moss<br>Cascarilla de arroz<br>Fibra de coco<br>Carbón<br>Bocashi<br>Semolina              | 20%<br>20%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10% |
| <b>T 4</b>  | Fibra de coco<br>Cascarilla de maní<br>Carbón<br>Abono orgánico*<br>Semolina                    | 30%<br>30%<br>15%<br>15%<br>10%        |
| <b>T 5</b>  | Fibra de coco<br>Cascabillo de café<br>Carbón<br>Abono orgánico*<br>Semolina                    | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        |
| <b>T 6</b>  | Fibra de coco<br>Cascarilla de maní<br>Carbón<br>Abono orgánico*<br>Semolina                    | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        |
| <b>T 7</b>  | Cascarilla de maní<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono orgánico*<br>Semolina              | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        |
| <b>T 8</b>  | Peat moss<br>Cascarilla de maní<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono orgánico*<br>Semolina | 20%<br>20%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10% |

Abono orgánico\* = Abono orgánico tipo bocashi

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.3.4 Variable respuesta

Para determinar la significancia de los tratamientos/sustratos sobre el desarrollo de las plantas de pino (*P. oocarpa Schiede*), y cedro (*C. odorata L.*), se tomaron las siguientes variables durante el crecimiento y desarrollo de las plantas, por un periodo de 4 meses.

##### a. Porcentaje de germinación (%)

La germinación se midió con base a porcentaje (%), para lo cual se realizó un conteo de las plantas emergidas en cada contenedor a los 8, 15, 24 días después de la siembra.

Para los cálculos de esta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$G = \frac{NPG * 100}{NTSS}$$

%G = Porcentaje de germinación

NPG = Número de plantas germinadas

NTSS = Número total de semillas sembradas

##### b. Plántula a muestrear y forma de muestreo

En total se analizaron ocho plantas por repetición (contenedor de 24 plantas), resultado de descartar las que se presentaron secas al momento de la medición, seleccionando las plantas de la parte del centro del contenedor, evitando medir las plantas ubicadas en el borde que evidencian un crecimiento diferencial ("efecto de borde").

##### c. Altura de la planta (cm)

Se midió la altura de las plantas en cada repetición, desde la base del tallo hasta el ápice específicamente donde termina el meristemo apical, utilizando una regla graduada, con el propósito de identificar el efecto de los tratamientos. Las mediciones y lectura se tomaron a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra.

**d. Diámetro del tallo (mm)**

Se midió el diámetro de la base del tallo a una altura de 0.5 cm, en cada una de las repeticiones utilizando un vernier digital. Las mediciones se realizaron a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra.

**e. Peso seco de tallo (gr)**

Se determinó el peso seco del tallo en cada uno de los tratamientos, a los 120 días después de la siembra, se muestrearon ocho plantas por repetición, descartando las plantas afectadas por efecto de borde en las bandejas. Cada una de las plantas se cortaron a nivel del cuello del tallo con el grupo de hojas y se secaron en un horno de convección, a una temperatura de 60 °C por espacio de 72 horas, luego se determinó la materia seca utilizando una balanza analítica con una precisión del 0.0001 g.

**f. Peso seco de raíces (gr)**

Se determinó el peso seco de raíces de los pilones que conforman los tratamientos en cada una de las repeticiones, a los 120 días después de la siembra. Se muestrearon ocho plantas por repetición, al extraer la muestra se descartaron las plantas afectadas por el efecto de borde en las bandejas. Cada una de las plantas se cortó a la altura del cuello del tallo, se limpiaron las raíces para someter las muestras a una temperatura de 60 °C, en un horno de convección por espacio de 72 horas, luego se pesaron las muestra en una balanza analítica con precisión de 0.0001 g.

**g. Calidad del adobe**

Se cuantificó la calidad de adobe que conforma cada tratamiento, tomando en cuenta el número de pilones a muestrear por repetición, con el propósito de identificar el efecto de los tratamientos, en respuesta al desempeño de los pilones en los diferentes sustratos, (Quesada y Méndez 2005).

Por adobe se entiende el agregado que forman las raíces de la planta con el sustrato y para que sea considerado como apropiado debe permitir un buen desarrollo radical, mantener la integridad de las raíces y su fácil extracción de la celda, sin dañar la plántula al tirar de la base del tallo.



Para determinar la calidad de adobe, se efectuó la lectura a los 120 días después de siembra, considerando la siguiente escala visual de evaluación:

Cuadro 2. Escala de la calidad de adobe utilizada en la evaluación de sustratos para la producción de plantas de pino y cedro. Chiquimula 2013.

| Calidad de adobe | Porcentaje de adobe                            |
|------------------|------------------------------------------------|
| 1                | El 100% del adobe sale íntegro                 |
| 2                | Sale el 90% del adobe                          |
| 3                | Sale el 75% del adobe                          |
| 4                | Sale el 50% del adobe                          |
| 5                | Sale menos del 50% del adobe o la raíz desnuda |

Fuente: Quesada y Méndez 2005.

#### **h. Porcentaje de plantas trasplantables**

La determinación del porcentaje de plantas trasplantables se realizó de forma visual, observando el estado de las plantas, el vigor y apariencia general sin considerar la calidad del adobe, realizando un conteo de las plantas existentes en cada tratamiento con estas características. Esta variable se determinó a los 120 días después de la siembra, es decir cuando los pilones están listos para el trasplante al campo.

Para los cálculos de esta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ PT} = \frac{\text{NPT} * 100}{\text{NPV}}$$

%PT= Porcentaje de plantas trasplantables

NPT = Número de plantas trasplantables

NPV = Número de plantas vivas

#### **i. Índice de Esbeltez (IE)**

El índice de Esbeltez se calculó mediante el cociente de la altura de la planta en cm, entre el diámetro en mm, la relación parte área/raíz se estimó como el cociente entre el peso seco de parte aérea en gramos y el peso seco de la raíz en gramos (Olivo y Buduba 2006).

$$IE = \frac{\text{diámetro tallo (mm)}}{\frac{\text{altura tallo (cm)}}{10} + 2}$$

#### **j. Índice de Dickson (QI)**

El índice de calidad de Dickson resultó de integrar los valores de biomasa total, el índice de Esbeltez y la relación parte aérea/raíz, donde los valores más altos indicaron plantas de mejor calidad, (Olivo y Buduba 2006).

$$QI = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura tallo (cm)}}{\text{diámetro tallo (mm)}} + \frac{\text{peso seco tallo (g)}}{\text{peso seco raíces (g)}}}$$

### **5.3.5. Manejo del experimento**

#### **a. Preparación de los materiales**

Para desarrollar la investigación se utilizaron 10 materiales (materias primas): cascarilla de arroz, fibra de coco, piedra volcánica, cascarilla de manía, cascabillo de café, carbón, semolina (pulimentos de arroz), abono orgánico tipo Bocashi y Peat Moss,

La preparación de los materiales consistió en realizar un tamizado de los mismos utilizando un tamiz  $\frac{1}{4}$  de pulgada de abertura, con el propósito de disponer de un tamaño homogéneo de las partículas para obtener una proporción adecuada de macro y microporos. Los materiales preparados fueron almacenados para su posterior uso en la elaboración de los sustratos.

#### **b. Proceso de preparación de los sustratos**

La preparación de los sustratos se realizó mezclando los materiales en las proporciones como se muestra en el cuadro 1, con base al volumen. Como ejemplo de este proceso se describe el tratamiento o sustrato uno (T1): para el caso de este tratamiento está conformado por 6 materiales en las siguientes proporciones, fibra de coco (40%) 24 litros, cascarilla de arroz (20%) 12 litros, carbón (15%) 9 litros, abono orgánico tipo Bocashi (15%) 9 litros y semolina (10%) 6 litros; en total se tiene 60 litros de volumen que corresponde al 100%.

Luego los materiales que conforman el sustrato se mezclaron para homogenizarlo, agregando melaza (2 litros), microorganismos de montaña activados MMA (4 litros) y el agua necesaria para alcanzar la capacidad de campo (se estima en 16 litros). Este proceso se realizó sobre plástico para evitar que los materiales entren en contacto con el suelo y sustancias extrañas. Posteriormente la mezcla homogenizada de cada sustrato/tratamiento fueron colocados en sacos de nylon a la sombra por un periodo de 6 meses (tiempo de curado) para su posterior utilización.

#### **c. Proceso de maduración o reposo**

Este proceso consistió en esperar que los tratamientos/sustratos pasaran por un proceso de fermentación y maduración, que permitió que los sustratos reaccionaran químicamente, la volatilización de nutrientes como el nitrógeno y compuesto como dióxido de carbono CO<sub>2</sub>. Trascurrido el periodo de seis meses los tratamientos estuvieron listos para ser evaluados en la producción de plántulas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L), a nivel de invernadero forestal.

#### **d. Análisis de fertilidad de sustratos**

Trascurrido el período de reposo, a cada tratamientos se le realizó un análisis de fertilidad en el Laboratorio de Suelos del Centro Universitario de Oriente –CUNORI- y facultad de Agronomía, Universitario de San Carlos de Guatemala.

Los parámetros fueron los siguientes:

- ✓ Textura
- ✓ Conductividad eléctrica
- ✓ pH
- ✓ Nitrógeno
- ✓ Fosforo
- ✓ Potasio
- ✓ Calcio
- ✓ Magnesio
- ✓ Hierro
- ✓ Cobre
- ✓ Zinc
- ✓ Porcentaje de materia orgánica
- ✓ Densidad aparente
- ✓ Densidad real
- ✓ Porosidad
- ✓ Relación carbono/nitrógeno
- ✓ Porcentaje de humedad
- ✓ Constantes de humedad
- ✓ CIC
- ✓ Porcentaje de saturación de bases

#### **e. Determinación de la germinación de semilla a nivel de laboratorio**

Para realizar la prueba de germinación y determinar el porcentaje de germinación de la semilla de pino y cedro en los sustratos, se utilizo 100 g de cada uno de los sustratos en cajas germinadoras, colocando en cada caja 100 semillas, distribuidas uniformemente, colocando cuatro repeticiones de cada uno. Se colocaron las cajas en el laboratorio para favorecer la germinación por especie de 24 días. Después de transcurrido este periodo se procedió a contar las semillas germinada en cada una de los sustratos para determinar el porcentaje de germinación.

#### **f. Preparación de contenedor**

Se utilizaron contenedores de 24 celdas de policloruro de vinilo negro, lavadas y desinfectadas para su uso. Se procedió al llenado de los mismos con cada uno de los tratamientos objeto de evaluación, utilizando cinco contenedores por tratamiento.

#### **g. Siembra**

La siembra se realizó de forma manual colocando dos a tres semillas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), por celda, a la profundidad de 1 cm cubriendo la semilla con piedra pómez para completar el llenado del contenedor, la semilla fue protegida por insecticida Gaucho 70 ws, luego de la siembra se aplicó el fungicida Banrot a razón de 1 cc/ 20 litros de agua para prevenir la aparición de patógenos. Posteriormente se colocaron los contenedores sobre marcos de metal para el desarrollo productivo.

#### **h. Análisis de agua**

Se realizó un análisis físico-químico del agua utilizada para riego en plantas forestales, en el laboratorio de agua de Gestión Ambiental CUNORI. Los diferentes parámetros se encuentran dentro del límite máximo aceptable, con un pH de 7.71 y conductividad eléctrica en 0.732 mS/cm, (anexo 5).

#### **i. Riegos**

Se aplicaron riegos a los sustratos, evitando al máximo el exceso de humedad o de sequedad, controlando que la distribución del agua en los contenedores fuera homogénea. El riego se aplicó diariamente en los primeros días de germinación, luego los riegos se aplicaron dejando un día de por medio el riego se aplicó con aspersor.

#### **j. Fertilización**

La nutrición de las plántulas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), se realizó mediante fertilizante hidrosoluble: Raizal, 20-07-19 (N-P-K), 05-25-35 (N-P-K), 07-40-20 (N-P-K), así como la aplicación de fertilizante foliare y fertilizante multimineral quelatado. El programa de fertilización utilizado para ambas especies forestales se puede apreciar en el (anexo 10).

#### **k. Control fitosanitario**

Se realizaron monitoreos diarios, con la finalidad de conocer el estado sanitario de las plántulas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), para detectar el desarrollo de posibles focos de enfermedades y plagas. La metodología para realizar los monitoreos fue observar en horas de la mañana y por la tarde, para establecer una medida de control apropiada se efectuaron aplicaciones preventivas. El programa de control fitosanitario utilizado para ambas especies forestales se puede apreciar en el (anexo 11).

#### **l. Temperatura**

Se obtuvieron los registros de temperatura en la estaciones meteorológicas del Centro Universitario de Oriente CUNORI, para contar con información climatológica que permita estudiar el comportamiento de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.), en el proceso de investigación, dichos registros se pueden observar en el (anexo 8).

### **5.3.6 Análisis de la información**

#### **a. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza y se determinó la existencia o no de diferencias estadísticas entre los tratamientos, realizando una comparación de medias utilizando la prueba de TUKEY para conocer los tratamientos estadísticamente iguales.

#### **b. Análisis financiero**

Para realizar el análisis financiero de la investigación, se utilizó la metodología del presupuesto parcial, el cual proporcionó información útil para tomar decisiones en el proceso de investigación, que repercutió en la variación de algunos aspectos económicos del proceso de producción de plántulas forestales, permaneciendo fijo todo lo demás (costos fijos).

#### **c. Presupuesto parcial**

Para determinar el presupuesto parcial, se determinaron los costos variables por cada tratamiento y los ingresos producto de venta de las plantas de pino, luego se determinó el Beneficio Bruto y el Beneficio Neto.

#### **d. Análisis de dominancia**

Una vez determinados los beneficios netos para cada tratamiento/sustrato, se efectuó el análisis de dominancia. Esto se hizo clasificando los tratamientos incluyendo el testigo, ordenándolas de menor a mayor, con base a los costos, conjuntamente con sus respectivos beneficios netos. Moviéndose de los tratamiento/sustratos de menor a mayor costo, el sustrato que presentó un menor costo que el anterior, pero rinde un menor beneficio neto se dice que es "dominado" y es excluido del análisis.

#### **e. Análisis de la tasa marginal de retorno a capital (TMRC)**

Una vez eliminados todos los tratamientos dominados, se calculó la Tasa Marginal de Retorno a Capital, la cual es una relación entre el beneficio neto y el costo variable de los insumos utilizados para la elaboración de los sustratos; este análisis indica el retorno neto por cada quetzal invertido en cada sustrato, lo que contribuye a detectar la eficiencia en la utilización de los mismos.

Para determinar la TMRC, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{TMR} = (\text{IBN} / \text{ICV}) * 100$$

En donde:

TMR= Tasa de Retorno Marginal

IBN= Incremento en el Beneficio Neto.

ICV= Incremento en el costo Variable.

### **5.3.7 Técnicas a utilizadas para la recolección, análisis e interpretación de datos**

#### **a. Trabajo de campo**

Para recolectar la información proveniente de las mediciones realizadas de las diferentes variables, se anotaron en tablas para su posterior análisis.

**b. Trabajo de gabinete**

Posterior al trabajo de campo fue necesario efectuar el trabajo de gabinete, en donde se analizó los diferentes datos obtenidos, con programas de cómputo Microsoft Word 2007 y Excel 2007; el cual fue una herramienta útil, donde se efectuaron tablas, gráficas y cuadros, con el objeto de interpretar de manera ordenada y técnica los datos. Para interpretar los resultados estadísticos, se utilizó el programa SAS, además se realizó una comparación de medias, utilizando la prueba de Tukey para conocer los tratamientos estadísticamente iguales.



## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1 Sustratos alternativos**

Se elaborados ocho sustratos, utilizando ocho materias primas: cascarilla de arroz, fibra de coco, piedra volcánica, cascarilla de manía, cascabillo de café, carbón, semolina (pulidura de arroz), abono orgánico tipo Bocashi y Peat moss.

Los sustratos se conformaron con la mezcla de los materiales en diferentes proporciones, que ofrezcan las mejores características físicas y químicas para el desarrollo de plantas forestales en contenedor. Se aplicado los microorganismos naturales (microorganismos de montaña) extraídos de bosques naturales mixtos del municipio de Quezaltepeque, departamento de Chiquimula, Guatemala; y multiplicados bajo condiciones controladas en una fase sólida en las instalaciones del Centro Universitario de Oriente –CUNORI-, para ser activados en una fase líquida, y aplicado a cada sustrato, para contribuir a la descomposición entre dos y cuatro meses posteriores a su elaboración.

Los sustratos elaborados se presentan en el cuadro 3, donde se puede observar los materiales y las proporciones en porcentajes (%) utilizados en cada uno, es importante indicar que para efecto de la presente investigación se prepararon proporciones de 60 litros de volumen, a los cuales se les aplicó 4 litros de microorganismos de montaña, de forma líquida diluidos en 2 litros de melaza y de 10 a 15 litros de agua dependiendo del contenido de humedad que presentaron los materiales al momento de la preparación de los sustratos, es decir que existieron mezclas que por sus características requieren un mayor volumen de agua que no exceda los 15 litros en un volumen de 60 litros de sustrato.

Cuadro 3. Materiales, porcentajes y pesos utilizados en la preparación de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.

| Tratamiento  | Material            | Porcentaje  | Peso de materiales en Kgs, para un volumen de 60 Lts. |
|--------------|---------------------|-------------|-------------------------------------------------------|
| <b>T 0</b>   | Peat moss           | 100%        | <b>8</b>                                              |
| <b>T 1</b>   | Fibra de coco       | 40%         | 4.5                                                   |
|              | Cascarilla de arroz | 20%         | 1.59                                                  |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Abono orgánico*     | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>Total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>18.65</b>                                          |
| <b>T 2</b>   | Fibra de coco       | 40%         | 4.5                                                   |
|              | Piedra Volcánica    | 20%         | 13.07                                                 |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Abono orgánico*     | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>Total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>30.13</b>                                          |
| <b>T 3</b>   | Peat moss           | 20%         | 3.51                                                  |
|              | Cascarilla de arroz | 20%         | 1.59                                                  |
|              | Fibra de coco       | 20%         | 2.25                                                  |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Bocashi             | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>Total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>19.91</b>                                          |
| <b>T 4</b>   | Fibra de coco       | 30%         | 3.37                                                  |
|              | Cascarilla de maní  | 30%         | 3.55                                                  |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Abono orgánico*     | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>Total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>19.48</b>                                          |
| <b>T 5</b>   | Fibra de coco       | 40%         | 4.5                                                   |
|              | Cascabillo de café  | 20%         | 2.19                                                  |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Abono orgánico*     | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>Total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>19.25</b>                                          |
| <b>T 6</b>   | Fibra de coco       | 40%         | 4.5                                                   |
|              | Cascarilla de maní  | 20%         | 2.37                                                  |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Abono orgánico*     | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>Total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>19.45</b>                                          |
| <b>T 7</b>   | Cascarilla de maní  | 40%         | 4.74                                                  |
|              | Cascarilla de arroz | 20%         | 1.59                                                  |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Abono orgánico*     | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>18.89</b>                                          |
| <b>T 8</b>   | Peat moss           | 20%         | 3.51                                                  |
|              | Cascarilla de maní  | 20%         | 1.59                                                  |
|              | Cascarilla de arroz | 20%         | 2.37                                                  |
|              | Carbón              | 15%         | 3.08                                                  |
|              | Abono orgánico*     | 15%         | 6.98                                                  |
|              | Semolina            | 10%         | 2.5                                                   |
| <b>Total</b> |                     | <b>100%</b> | <b>20.03</b>                                          |

Abono orgánico\* = Abono orgánico tipo bocashi

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 4, se presenta una caracterización física y química de los materiales utilizados para la elaboración de los sustratos alternativos evaluados, donde se determinó el potencial de Hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, densidad aparente y real, porosidad total y porcentaje de humedad.

Cuadro 4. Valores de pH, conductividad eléctrica, densidad aparente y real, contenido de humedad de los materiales utilizados para la elaboración de los sustratos alternativos. Chiquimula 2013.

| Materiales                  | pH   | Conductividad eléctrica (uS/cm) | Densidad aparente g/cm <sup>3</sup> | Densidad real g/cm <sup>3</sup> | % porosidad total | % de humedad |
|-----------------------------|------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|
| Fibra de coco               | 5.62 | 1500                            | 0.2361                              | 0.5457                          | 56.73             | 14.02        |
| Cascarilla de arroz         | 6.00 | 345                             | 0.1472                              | 0.5809                          | 74.66             | 9.79         |
| Cascarilla de maíz          | 5.93 | 522                             | 0.2709                              | 0.777                           | 65.14             | 12.16        |
| Cascabillo de Café          | 5.70 | 201.66                          | 0.2272                              | 0.9904                          | 77.06             | 10.98        |
| Piedra volcánica            | 8.55 | 95.7                            | 1.2491                              | 2.6283                          | 52.47             | 5.43         |
| Abono orgánico tipo Bocashi | 7.80 | 3.27                            | 0.7855                              | 1.4749                          | 46.74             | 26.79        |
| Carbón                      | 7.97 | 91.4                            | 0.4151                              | 0.6415                          | 35.29             | 3.83         |
| Semolina                    | 6.19 | 1279                            | 0.5176                              | 1.1248                          | 53.98             | 11.17        |
| Peat moss                   | 5.68 | 4.82                            | 0.2361                              | 0.5003                          | 52.81             | 49.44        |

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2 Caracterización física y química de los sustratos alternativos

De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio (Laboratorio de Suelos y Agua del Centro Universitario de Oriente –CUNORI-, Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la USAC y el Laboratorio de Suelos de la Empresa Soluciones Analíticas) el pH o acidez de los sustratos es uno de los parámetros más importantes en la caracterización. Estos presentaron pH por encima de 7 (7.11 a 8.62) los cuales se consideran ligeramente alcalinos; el sustrato que presentó menor valor de pH fue el tratamiento T2 (fibra de coco 40%, piedra volcánica 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%) y el sustrato que presentó un valor más alto de pH, fue el tratamiento T7 (cascarilla de maní 40%, cascarilla de arroz 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%). En comparación el sustrato testigo (T0 Peat moss) el cual presento un pH de 5.68 considerado ácido, los sustratos elaborados tiene pH altos lo cual puede afectar la disponibilidad de micronutrientes especialmente los metales, afectar la sanidad de las plantas porque la mayoría de los patógenos viven mejor en condiciones de pH elevado; sin embargo, los del género fusarium prefieren un pH bajo, por otro lado la capacidad de intercambio catiónico se incrementa con el mismo. El pH

de los sustratos evaluados se mantiene elevado producto de los materiales utilizados para su elaboración.

La conductividad eléctrica de los sustratos se encuentra en un rango de valores elevados, de 2120 uS/cm a 3530 uS/cm; comparada con el Peat moss (483 uS/cm), la alta conductividad eléctrica en los sustratos puede afectar la germinación de la semilla especialmente de hortalizas, como el tomate, sin embargo la germinación de la semilla de pino y cedro no se vio afectada por la conductividad, pero si el sistema radicular de las plantas en la primera etapa de crecimiento (1 a 1.5 meses después de la siembra). La conductividad eléctrica puede modificarse en los sustratos mediante el lavado, que permite reducirla hasta un 50%, dependiendo de la intensidad del lavado, que puede ser mediante la aplicación de riego en el contenedor antes de la siembra o el lavado del mismo, antes del llenado de los contenedores. La conductividad eléctrica está directamente relacionada con la concentración de sales minerales, esto puede ocasionar problema en la producción, como inhibición de la germinación de la semilla, reducción marcada del crecimiento, muerte de raíces por la predisposición al ataque de enfermedades.

La alta conductividad eléctrica de los sustratos se debe principalmente a la fibra de coco (1500 uS/cm) y abono orgánico (3279 uS/cm) utilizados en la preparación de los sustratos ya que los sustratos que tiene una menor proporción de fibra de coco o carecen de ella presentaron menor conductividad, el tratamiento 3 (Peat moss 20%, cascarilla de arroz 20%, fibra de coco 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%), tratamiento 7 (cascarilla de maní 40%, cascarilla de arroz 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%) y tratamiento 8 (Peat moss 20%, cascarilla de arroz 20%, cascarilla de maní 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, semolina 10%).

Por ser sustratos orgánicos (compuestos principalmente de materiales orgánicos) estos presentan altos contenidos de materia orgánica de 37.3 % a 62.3%, el sustrato que tiene menor contenido de materia orgánica es el tratamiento 2 (37.3) porque uno de sus componentes es la piedra volcánica un material inorgánico. Al comparar el contenido de materia orgánica de los sustratos elaborados con el testigo (T0: Peat moss) son

similares comportándose entre el 55% y 62% de materia orgánica a diferencia del tratamiento 2 y 3 que están por debajo del 50%. Los sustratos con un alto contenido de materia orgánica, aporta nutrientes para las plantas, si la materia orgánica se encuentra en un grado de descomposición estable.

La relación carbono/nitrógeno indica el grado de madurez y estabilidad de la materia orgánica, los valores ideales para el cultivo de plantas forestales en contenedor se sitúan por debajo de 20, que se consideran sustratos muy estables, por encima de 50 impide una adecuada activación bacteriológica y tiene una lenta velocidad de descomposición, lo que les proporciona estabilidad; la relación carbono/nitrógeno elevada pueden implicar un alto consumo de nutrientes y oxígeno, afectando la nutrición y la respiración de las raíces de la planta.

Los sustratos evaluados tienen una alta relación carbono/nitrógeno de 47 a 69.9 por lo que la estabilidad de estos es alta; al comparar la relación carbono/nitrógeno de los sustratos elaborados con el testigo (Peat moss) que tiene una relación carbono/nitrógeno de 137.7 esta relación al compararla con los sustratos evaluados la estabilidad es mayor.

Con relación a la densidad aparente y densidad real, lo más importante para un sustrato utilizado en la producción de plantas en contenedor es la densidad aparente; la cual para un sustrato con buenas características debe ser inferior a  $0.4 \text{ g/cm}^3$ , de acuerdo a los resultados de laboratorio el T0 que corresponde al Peat moss ( $0.2361 \text{ g/cm}^3$ ) fue el que presentó menor densidad aparente y el T2 el que presentó un mayor valor ( $0.5282 \text{ g/cm}^3$ ) que está por encima del valor indicado, debido a que este es el único tratamiento que dentro de su composición tiene un material inorgánico (piedra volcánica). De los ocho tratamientos o sustratos evaluados exceptuando el testigo, siete tienen una densidad aparente adecuada por debajo del valor de  $0.4 \text{ g/cm}^3$ .

La densidad real se comportó de forma similar a la densidad aparente, el tratamiento o sustrato 0 Peat moss, fué el que presentó menor densidad real ( $0.5003 \text{ g/cm}^3$ ) y el tratamiento o sustrato 2 el que presentó mayor densidad real ( $1.5674 \text{ g/cm}^3$ ).

La porosidad es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas, el cual puede estar ocupado por aire o agua, es difícil encontrar un acuerdo en cuanto a la porosidad del sustrato ideal; se afirma que la porosidad ideal sería un 85% y otro rango de valores óptimos para la porosidad total es de 60 a 70%, pero la literatura coincide en que el crecimiento vegetal y porosidad total debe ser de 50% repartida entre aire y agua (Messerer 1998).

En los tratamientos evaluados, la porosidad total presentó valores del 52.81% para el T0 (Peat moss) a 68.37%, en el T3 el valor más alto, debido a los materiales de los cuales está conformado (Peat moss 20%, cascarilla de arroz 20%, fibra de coco 20%, carbón 15%, abono orgánico 15% y semolina 15%), todos los tratamientos presentaron una porosidad total superior al 50%, pero inferior al 85%.

Al comparar el testigo (T0) con el resto de los tratamientos evaluados, estos tienen porosidad superior, lo cual es un buen indicador de la calidad de los sustratos en esta característica física, que permite una buena retención de humedad que favorece el crecimiento y desarrollo de la raíz.

Con relación al contenido de humedad el tratamiento T0 que corresponde al Peat moss es el que mayor contenido de humedad presentó (49.44%), lo cual indica que requiere una menor cantidad de agua al momento de prepararlo para el llenado de los contenedores y los tratamientos T2 y T8 son los que presentaron menor contenido de humedad (6.14% y 9.41% respectivamente), los cuales requieren mayor cantidad de agua al momento de ser preparados para el llenado de los contenedores.

Cuadro 5. Valores de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación C/N, densidad aparente y real, porosidad y humedad de los tratamientos evaluados. Chiquimula 2013.

| Tratamientos | pH   | Conductividad eléctrica uS/cm | % materia orgánica | Relación carbono/nitrogen | Densidad aparente g/cm <sup>3</sup> | Densidad real g/cm <sup>3</sup> | % Porosidad total | % de humedad |
|--------------|------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|
| T 0          | 5.68 | 483                           | 55.1               | 137.7                     | 0.2361                              | 0.5003                          | 52.81             | 49.44        |
| T 1          | 7.32 | 3530                          | 59.8               | 61                        | 0.2786                              | 0.7218                          | 61.4              | 10.47        |
| T 2          | 7.11 | 3350                          | 37.3               | 64.4                      | 0.5282                              | 1.5674                          | 66.3              | 6.14         |
| T 3          | 7.77 | 2900                          | 40.9               | 47                        | 0.2593                              | 0.8197                          | 68.37             | 11.03        |
| T 4          | 7.9  | 3150                          | 61.9               | 59.5                      | 0.3391                              | 0.7741                          | 56.19             | 11.24        |
| T 5          | 7.82 | 3470                          | 62                 | 59.6                      | 0.2853                              | 0.6337                          | 54.98             | 10.63        |
| T 6          | 7.41 | 3070                          | 60.8               | 69.9                      | 0.2642                              | 0.5857                          | 54.9              | 11.79        |
| T 7          | 8.62 | 2120                          | 62.3               | 59.9                      | 0.3725                              | 0.9879                          | 62.3              | 12.31        |
| T 8          | 8.18 | 2600                          | 59.1               | 51.4                      | 0.3528                              | 0.8333                          | 57.66             | 9.41         |

Fuente: Elaboración propia

En el laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente, se realizó el análisis de las partículas de cada uno de los tratamientos, a través de un análisis mecánico, determinando el porcentaje partículas de los sustratos similares a la arcilla (menor a 0.002 mm), limo (0.002 a 0.05mm) y arena (0.05 a 2 mm). De acuerdo a los resultados el mayor porcentaje de partículas de los tratamientos evaluados, está entre los mayor es de 2 mm a 0.05 mm de diámetro, que corresponde al tamaño de las arenas y gravas, el tratamiento que contiene mayor cantidad de este tamaño de partículas es el T6 (fibra de coco 40%, cascarilla de maní 20%, carbón 15%, abono orgánico 15% y semolina 10%) característica que se debe principalmente al contenido de cascarilla de maní y el tratamiento T0 (Peat moss) es el que presentó menor cantidad de partículas de 2 mm a 0.05 mm. La mayoría de los tratamientos evaluados a excepción del T7 el menor porcentaje de partículas, está es inferior a 0.002 mm que corresponde al tamaño de las arcillas, como se observa en el cuadro 6. De acuerdo al análisis mecánico de partículas la clase textural de los 9 tratamientos o sustratos estudiados es “arenoso”, porque todos los tratamientos tienen más del 50% de partículas entre 0.05 a 2 mm, lo cual le confiere los sustratos alternativos una clase textural similar al Peat moss, con un mayor contenido de macroporos conforme aumenta el porcentaje de partículas al tamaño indicado anteriormente.

Cuadro 6. Valores obtenidos en el análisis mecánico de las partículas en los tratamientos evaluados. Chiquimula 2013.

| Tratamientos | Porcentaje (%) |       |       | Clase textural |
|--------------|----------------|-------|-------|----------------|
|              | Arcilla        | Limo  | Arena |                |
| <b>T 0</b>   | 14.9           | 21.1  | 64    | Arenoso        |
| <b>T 1</b>   | 13.76          | 19.37 | 66.87 | Arenoso        |
| <b>T 2</b>   | 11.65          | 17.26 | 71.09 | Arenoso        |
| <b>T 3</b>   | 15.87          | 17.26 | 66.87 | Arenoso        |
| <b>T 4</b>   | 14.14          | 17.26 | 68.6  | Arenoso        |
| <b>T 5</b>   | 11.65          | 17.26 | 71.09 | Arenoso        |
| <b>T 6</b>   | 9.47           | 12.14 | 78.39 | Arenoso        |
| <b>T 7</b>   | 12.86          | 10.78 | 76.36 | Arenoso        |
| <b>T 8</b>   | 12.41          | 15.15 | 72.44 | Arenoso        |

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 7, se presenta la capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable y las constantes de humedad a diferentes atmosferas de presión.

La capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua que puede retener un sustrato contra la fuerza de gravedad después de un riego que ha humedecido todo el sustrato, está relacionada directamente con la textura y el nivel de materia orgánica. Como se puede observar el tratamiento T0 (Peat moss) es el que presenta una mayor capacidad de campo (107.59%) y el tratamiento T2 es el que presenta menor capacidad de campo (49.31%), así mismo los tratamiento T1, T3, T4, T5 y T6, presenta valores de capacidad de campo de 74.67% a 87.86%.

El punto de marchitez permanente (PMP) expresa el porcentaje de humedad en el cual la planta se marchita y no puede recuperarse, como puede observarse en el cuadro 7, los sustratos alternativos (T1 al T8), presentan valores inferiores de PMP que el testigo T0. Al determinar la humedad aprovechable (HA) que corresponde a la diferencia entre la CC y PMP, que la humedad que puede ser aprovechada por la planta para su desarrollo y crecimiento, se puede determinar que el tratamiento T0 (Peat moss) tiene un mayor porcentaje de humedad aprovechable que el resto de tratamientos y que el tratamiento T1, que contiene fibra de coco y cascarilla de arroz es el que mayor porcentaje de humedad aprovechable presenta de los sustratos.

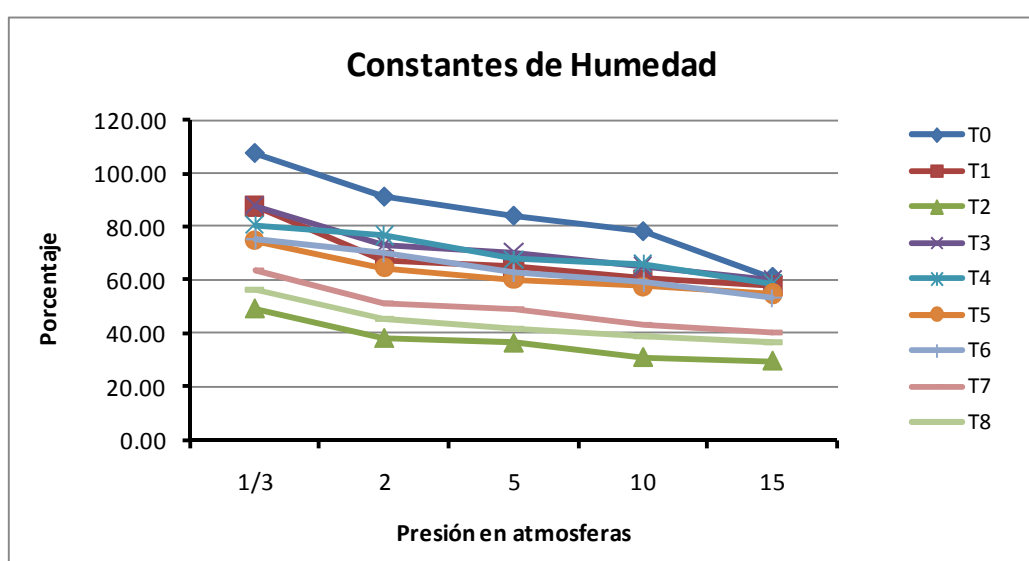


Cuadro 7. Valores obtenidos de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, humedad aprovechable y constantes de humedad. Chiquimula 2013.

| Tratamientos | Capacidad de campo CC (%) | Punto de marchitez permanente PMP (%) | Humedad aprovechable HA(%) | Constantes de humedad (atmosferas de presión) |       |       |       |       |
|--------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|              |                           |                                       |                            | 1/3                                           | 2     | 5     | 10    | 15    |
| T 0          | 107.59                    | 60.83                                 | 46.76                      | 107.59                                        | 91.09 | 83.91 | 78.04 | 60.83 |
| T 1          | 87.71                     | 57.7                                  | 30.01                      | 87.51                                         | 67.56 | 65.07 | 60.52 | 57.7  |
| T 2          | 49.31                     | 29.51                                 | 19.8                       | 49.31                                         | 38.07 | 36.27 | 30.85 | 29.51 |
| T 3          | 87.86                     | 59.9                                  | 27.96                      | 87.86                                         | 73.39 | 70.34 | 65.14 | 59.9  |
| T 4          | 80.5                      | 58.72                                 | 21.78                      | 80.5                                          | 76.8  | 67.73 | 65.89 | 58.72 |
| T 5          | 74.67                     | 54.85                                 | 19.82                      | 74.67                                         | 64.48 | 60.23 | 57.41 | 54.85 |
| T 6          | 75.23                     | 53.1                                  | 22.13                      | 75.23                                         | 70    | 62.51 | 59.27 | 53.1  |
| T 7          | 63.29                     | 40.43                                 | 22.86                      | 63.29                                         | 51.47 | 48.85 | 43.51 | 40.43 |
| T 8          | 56.28                     | 36.61                                 | 19.67                      | 56.28                                         | 45.31 | 41.69 | 38.53 | 36.61 |

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 1, se puede observar las curvas constantes de humedad, donde se compara el contenido de humedad en porcentajes a diferentes atmosferas de presión (1/3, 2, 5, 10, 15) del testigo T0 (Peat moss) y los sustratos alternativos evaluados.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1. Constantes de humedad de los sustratos evaluados a diferentes atmosferas de presión. Chiquimula 2013.

La propiedades químicas de un sustrato definen la transferencia de materia en el sustrato y el medio de donde se alimenta la planta, de las propiedades químicas más importantes, el contenido de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

En el cuadro 8, se puede observar que el contenido de macronutrientes NPK de los sustratos alternativos (T1 a T8), es superior al testigo T0, especialmente en el contenido de fósforo y potasio, los sustratos evaluados presentan altos niveles de P y K que pueden ser absorbidos por la planta y contribuir significativamente en su crecimiento y desarrollo, debido a que los sustratos alternativos contienen abono orgánico tipo Bocashi y materiales como fibra de coco, cascarilla de arroz, cascarilla de maní, cascabillo de café y carbón; que aportan macro y micronutrientes al medio. Con relación al contenido de calcio y magnesio los niveles de estos nutrientes se presentan similares al testigo T0, con bajos niveles de calcio y altos niveles de magnesio.

Con relación a los niveles de metales como Cu, Zn, Fe, Mn; los sustratos alternativos presentan niveles ligeramente superiores al sustrato T0 (testigo), para el caso del Zn, Fe y Mn, sin embargo en el ensayo de campo, las plantas en los sustratos alternativos manifestaron deficiencias de metales, principalmente zinc y hierro, debido al pH que es ligeramente alcalino, limitando la disponibilidad de nutrientes como los metales. Es importante indicar que el contenido de nutrientes es influenciado por la relación carbono/nitrógeno que en el caso del tratamiento T0 testigo tiene un alta relación y baja fertilidad debido a que los microorganismos presentes utilizan el nitrógeno para descomponer la materia orgánica.

En relación a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), que es la suma de los cationes cambiables que pueden ser absorbidos por unidad peso o volumen del sustrato, los cuales pueden ser retenidos frente al efecto lixivante del agua, la capacidad de intercambio catiónico depende del pH, la CIC permite una mayor flexibilidad y seguridad en el manejo de nutriente y una capacidad para contrarrestar posibles aportes de sales al sustrato. Los sustratos alternativos evaluados al igual que el testigo tienen una alta capacidad de intercambio catiónico, debido a los materiales que los conforman, el tratamiento o sustrato T0 (Peat moss) es el que mayor capacidad de intercambio catiónico presentó (37.49 meq/100 g) seguido del tratamiento T3 y T1 con valores de 36.65 y 35.82 meq/100 g, respectivamente, el sustrato que menor capacidad de intercambio catiónico presentó es el T8 con valor de 17.47 meq/100 g, los

sustratos alternativos tienen una CIC similar a la turba rubia (Peat moss) lo cual les confiere buenas características de fertilidad y productividad.

El porcentaje de saturación de bases está relacionada con el pH, ya que conforme se incrementa el pH, se incrementa el porcentaje de saturación de bases en medio; de acuerdo a los resultados de laboratorio los ocho sustratos alternativos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8), presentan un porcentaje de saturación de bases mayor de 100 y el T0 (testigo) presenta una saturación de bases de 73.23%. Esto nos indica que los sustratos alternativos evaluados tiene un porcentaje de saturación de bases superior a la turba rubia (Peat moss), (cuadro 8).

Cuadro 8. Valores obtenidos del contenido de macro y micronutrientes disponibles, bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases. Chiquimula 2013.

| Tratamientos | (%)  | (Ppm) |       | (Meq/100 g) |       | (Ppm) |      |      |      | (Meq/100 g) |      |      |       | (Meq/100 g) | (%)        |
|--------------|------|-------|-------|-------------|-------|-------|------|------|------|-------------|------|------|-------|-------------|------------|
|              | N    | P     | K     | Ca          | Mg    | Cu    | Zn   | Fe   | Mn   | Ca          | Mg   | Na   | K     | CIC         | saturación |
| T 0          | 0.62 | 70.4  | 1500  | 0.7         | 13.77 | 0     | 7    | 4.5  | 16.5 | 11.23       | 8.02 | 0.52 | 7.69  | 37.49       | 73.23      |
| T 1          | 1.35 | 218.7 | 10625 | 0.6         | 13.98 | 0.5   | 10.5 | 8    | 70.5 | 9.73        | 9.25 | 1.48 | 16.67 | 35.82       | >100       |
| T 2          | 1.04 | 192.8 | 6125  | 0.7         | 12.03 | 0.5   | 4.5  | 23   | 41.5 | 8.98        | 6.78 | 1.3  | 14.1  | 29.16       | >100       |
| T 3          | 1.12 | 232.4 | 10375 | 0.7         | 13.88 | 0.5   | 6.5  | 10.5 | 52.5 | 11.73       | 9.66 | 1.57 | 19.23 | 36.65       | >100       |
| T 4          | 1.34 | 265.2 | 10500 | 0.6         | 12.23 | 0.5   | 5    | 17   | 37   | 8.48        | 8.22 | 1.3  | 19.23 | 26.66       | >100       |
| T 5          | 1.28 | 276.8 | 10500 | 0.6         | 12.54 | 0.5   | 4    | 12.5 | 45   | 11.73       | 9.46 | 1.57 | 21.79 | 27.49       | >100       |
| T 6          | 1.29 | 284.8 | 11000 | 0.5         | 11.82 | 0.5   | 5.5  | 14   | 54   | 9.48        | 9.25 | 3.04 | 20.51 | 30.82       | >100       |
| T 7          | 1.55 | 243   | 9250  | 0.7         | 10.49 | 0.5   | 6    | 20.5 | 54.5 | 11.23       | 7.81 | 1.04 | 17.95 | 31.65       | >100       |
| T 8          | 1.33 | 276.8 | 9375  | 0.5         | 12.23 | 0.5   | 7.5  | 25.5 | 9.9  | 10.23       | 9.05 | 0.96 | 17.95 | 17.47       | >100       |

Fuente: Elaboración propia

### 6.3 Respuesta de la evaluación de sustratos alternativos en la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Shiede)

En las plantas de pino, se evaluaron las variables agronómicas: porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro en la base de la planta, materia seca del tallo, materia seca de la raíz, calidad de adobe y porcentaje de plantas trasplantables, en el vivero de las instalaciones del Centro Universitario de Oriente –CUNORI, en el municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula.

En el cuadro 9 se presentan los resultados promedio obtenidos de la variable porcentaje de germinación, en los ocho sustratos alternativos evaluados y el testigo.

Cuadro 9. Resultados promedio obtenidos de la variable porcentaje de germinación de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Materiales que lo Conforman                                                        |                                        | Porcentaje de Germinación (%)<br>Días después de la siembra (DDS) |       |       | Tratamiento | Materiales que lo Conforman                                                                    |                                        | Porcentaje de Germinación (%)<br>Días después de la siembra (DDS) |       |       |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|
|             | Material                                                                           | Porcentaje                             | 8                                                                 | 15    | 24    |             | Material                                                                                       | Porcentaje                             | 8                                                                 | 15    | 24    |
| T0          | Peat moss                                                                          | 100%                                   | 5.00                                                              | 94.80 | 94.80 | T5          | Fibra de coco<br>Cascabillo de café<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina                    | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 5.83                                                              | 92.40 | 92.40 |
| T1          | Fibra de coco<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina       | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 5.00                                                              | 93.80 | 93.40 | T6          | Fibra de coco<br>Cascarilla de maní<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina                    | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 6.67                                                              | 92.20 | 92.20 |
| T2          | Fibra de coco<br>Piedra Volcánica<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina          | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 5.00                                                              | 93.60 | 93.60 | T7          | Cascarilla de maní<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina              | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 5.83                                                              | 90.60 | 90.60 |
| T3          | Peat moss<br>Cascarilla de arroz<br>Fibra de coco<br>Carbón<br>Bocashi<br>Semolina | 20%<br>20%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10% | 5.83                                                              | 92.00 | 92.00 | T8          | Peat moss<br>Cascarilla de maní<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina | 20%<br>20%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10% | 6.67                                                              | 90.80 | 90.80 |
| T4          | Fibra de coco<br>Cascarilla de maní<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina        | 30%<br>30%<br>15%<br>15%<br>10%        | 6.67                                                              | 92.00 | 92.00 |             |                                                                                                |                                        |                                                                   |       |       |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el cuadro 9, a los 15 días después de la siembra se obtuvo el 90% del porcentaje de germinación de las plantas en los ocho sustratos alternativos evaluados y el testigo T0 (Peat moss).

En el cuadro 10, se presentan los resultados promedio obtenidos de las variables: altura de planta, diámetro de la base del tallo, materia seca del tallo y materia seca de la raíz, en los ochos sustratos evaluados y el testigo.

Cuadro 10. Valores promedio obtenidos de las variable: altura de planta, diámetro del tallo, materia seca del tallo y raíz de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Materiales que lo Conforman |            | Altura de Planta en cm<br>Días después de la siembra (DDS) |       |       |       | Diámetro de Tallo en mm<br>Días después de la siembra (DDS) |      |      |      | Materia Seca en g |       |
|-------------|-----------------------------|------------|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------------------------------------------|------|------|------|-------------------|-------|
|             | Material                    | Porcentaje | 30                                                         | 60    | 90    | 120   | 30                                                          | 60   | 90   | 120  | Tallo             | Raíz  |
| T0          | Peat moss                   | 100%       | 3.99                                                       | 10.65 | 18.50 | 22.16 | 1.17                                                        | 1.11 | 1.71 | 1.85 | 2.967             | 0.532 |
| T1          | Fibra de coco               | 40%        | 3.87                                                       | 8.60  | 17.35 | 19.29 | 1.11                                                        | 1.11 | 1.55 | 1.78 | 2.388             | 0.626 |
|             | Cascarilla de arroz         | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T2          | Semolina                    | 10%        | 4.10                                                       | 9.05  | 16.55 | 20.63 | 1.10                                                        | 1.15 | 1.60 | 1.77 | 2.491             | 0.590 |
|             | Fibra de coco               | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Piedra Volcánica            | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T3          | Abono Organico              | 15%        | 4.02                                                       | 9.60  | 17.35 | 20.41 | 1.17                                                        | 1.22 | 1.73 | 1.84 | 2.426             | 0.512 |
|             | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Peat moss                   | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de arroz         | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T4          | Fibra de coco               | 30%        | 3.49                                                       | 8.70  | 15.80 | 19.65 | 1.04                                                        | 1.13 | 1.63 | 1.82 | 2.580             | 0.435 |
|             | Cascarilla de maní          | 30%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T5          | Semolina                    | 10%        | 3.77                                                       | 8.28  | 17.75 | 20.83 | 1.14                                                        | 1.18 | 1.71 | 1.84 | 2.801             | 0.668 |
|             | Fibra de coco               | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascabillo de café          | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T6          | Abono Organico              | 15%        | 3.80                                                       | 7.01  | 11.50 | 13.60 | 1.13                                                        | 1.17 | 1.21 | 1.33 | 1.722             | 0.275 |
|             | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Fibra de coco               | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de maní          | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T7          | Carbón                      | 15%        | 3.65                                                       | 6.57  | 11.40 | 15.00 | 1.14                                                        | 1.18 | 1.24 | 1.32 | 1.914             | 0.475 |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de arroz         | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T8          | Carbón                      | 15%        | 3.23                                                       | 5.29  | 11.11 | 14.95 | 1.08                                                        | 1.16 | 1.19 | 1.28 | 1.398             | 0.440 |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Peat moss                   | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |

Fuente: Elaboración propia.

Los mejores rendimientos en las variables indicadas se obtuvieron en el tratamiento testigo T0 (Peat moss) y los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5, y en los tratamientos T6, T7 y T8 se obtuvieron los menores rendimientos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por cada una de las variables en los sustratos bajo estudio.

### 6.3.1 Porcentaje de germinación de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede)

Con el propósito de evaluar la respuesta de germinación de las semillas de pino en los diferentes sustratos evaluados, se midió el porcentaje de germinación a los 8, 15 y 24 días después de la siembra (DDS).

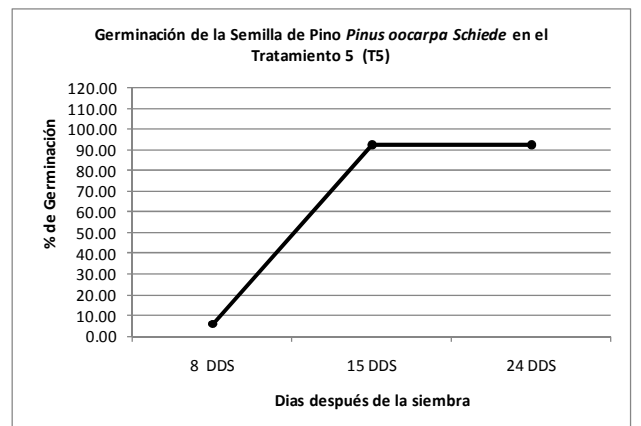
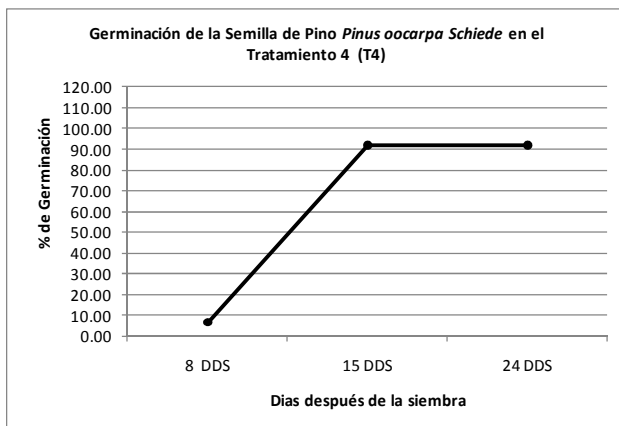
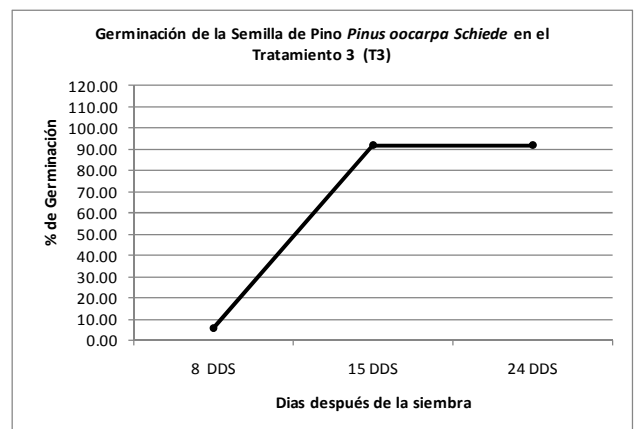
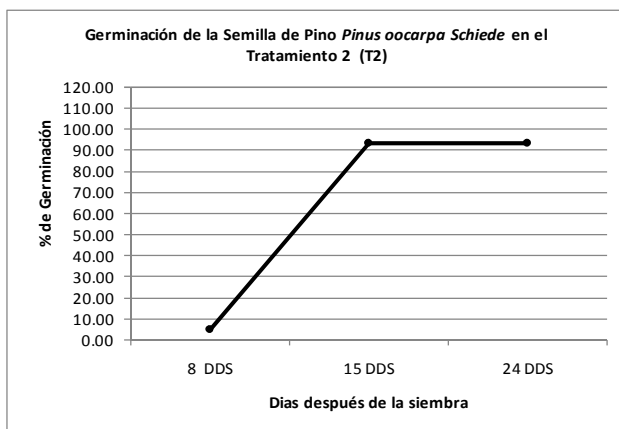
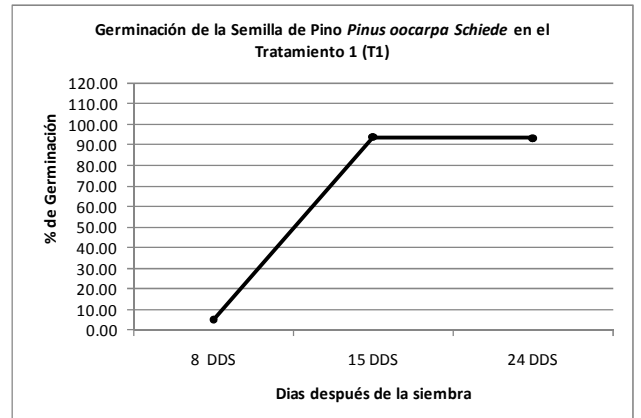
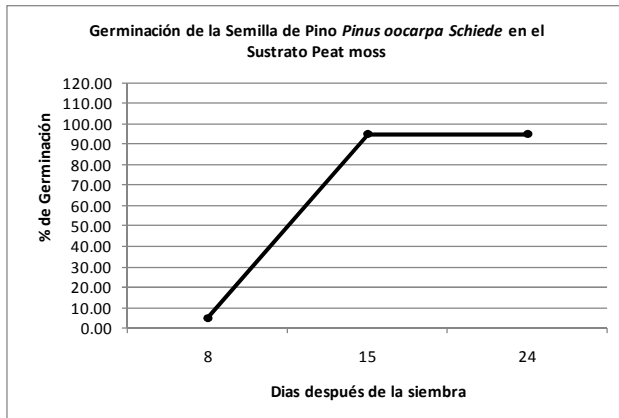
En el cuadro 11, se presenta el porcentaje de germinación promedio para cada uno de los tratamientos evaluados.

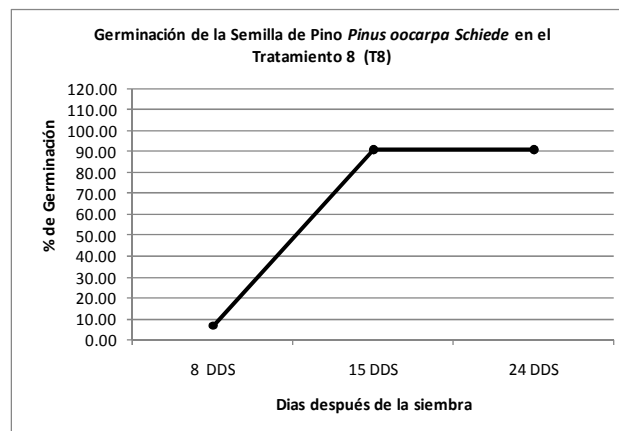
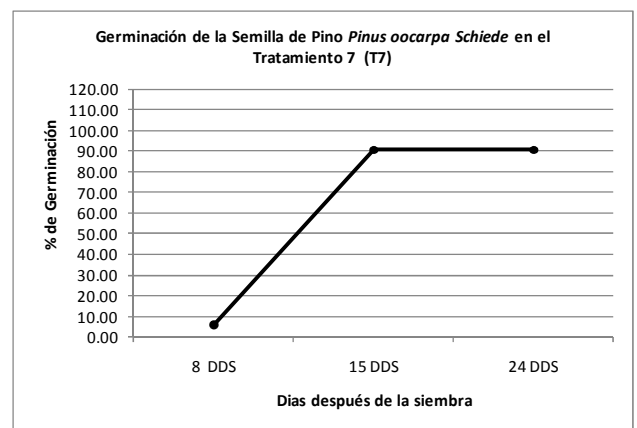
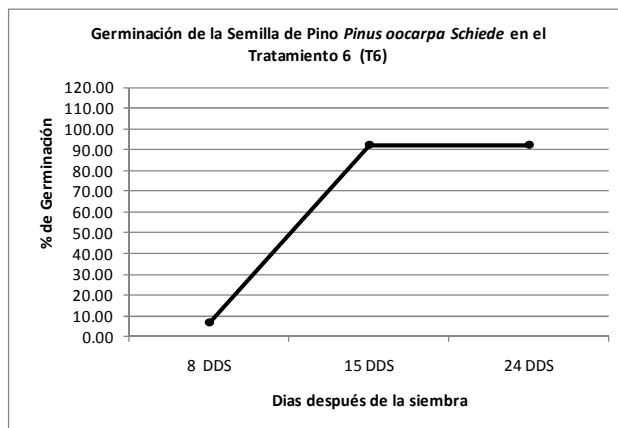
Cuadro 11. Porcentaje de germinación de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), en la evaluación de sustratos alternativos, a los 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de germinación días después de la siembra (DDS) |        |        |
|-------------|------------------------------------------------------------|--------|--------|
|             | 8 DDS                                                      | 15 DDS | 24 DDS |
| T0          | 1.67                                                       | 94.8   | 94.8   |
| T1          | 2.5                                                        | 93.8   | 93.8   |
| T2          | 3.33                                                       | 93.6   | 93.6   |
| T3          | 2.5                                                        | 92     | 92     |
| T4          | 1.67                                                       | 92     | 92     |
| T5          | 2.5                                                        | 92.4   | 92.4   |
| T6          | 1.67                                                       | 92.2   | 92.2   |
| T7          | 2.5                                                        | 90.6   | 90.6   |
| T8          | 1.67                                                       | 90.8   | 90.8   |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el cuadro 11, el promedio de la germinación en todos los tratamientos evaluados fue mayor al 90%, el tratamiento testigo (T0) fue el que mostro mayor porcentaje de germinación con un 94.80% a los 15 días después de la siembra y el tratamiento T7, presentó el menor porcentaje de germinación con un 90.60%.





Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Comportamiento del porcentaje de germinación de las plantas de pino (*P. oocarpa Schiede*), producidas en los sustratos evaluados 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

Como se observa en las gráfica 2, el comportamiento de la germinación en sustratos evaluados fue satisfactorio con más del 90% de germinación en todos los tratamientos, posiblemente por la aplicación de una capa de piedra pómez de 0.5 cm sobre la semilla, con el propósito favorecer la germinación, la cual es una práctica agronómica utilizada en la producción de plantas forestales en contenedor en Guatemala, especialmente en el vivero de FEDECOVERA en el municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Cú J. 2012. Producción forestal (Entrevista). Coban, GT, FEDECOVERA.



### 6.3.2 Altura de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede)

El crecimiento de las plantas de pino está influenciado por las condiciones climáticas, disponibilidad de luz y nutrientes del medio donde se desarrolla.

Con el propósito de conocer la respuesta sobre la altura de las plantas de pino de los diferentes sustratos, se realizaron mediciones de la variable a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (DDS), posteriormente se realizó análisis de varianza y prueba de medias para determinar las diferencias.

En el cuadro 12, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta a los 30 días después de la siembra para los nueve tratamientos, donde se observó que no existe diferencia significativa en los tratamientos para esta variable en un periodo de 30 días. El coeficiente de variación obtenido fue de 16.36%

Cuadro 12. Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 3.07544444        | 0.38443056     | 1.01         | 0.4443      | NS  |
| Error                    | 36                | 13.69100000       | 0.38030556     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 16.76644444       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 16.36%            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a estos resultados, la altura de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), a los 30 días después de la siembra es estadísticamente igual y en ninguno de los tratamientos el desarrollo es diferente. Las mediciones de altura de planta están dentro del rango 3.23 a 4.10 cm, sin embargo no son significativas.

En el cuadro 13, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta a los 60 días después de la

siembra para los nueve tratamientos, donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 14.87%.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 108.211111        | 13.5263889     | 9.11         | < .0001     | **  |
| Error                    | 36                | 53.4600000        | 1.4850000      |              |             |     |
| Total                    | 44                | 161.671111        |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 14.87%            |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, al menos uno de los tratamientos o sustratos evaluados es diferente a los demás, lo que hizo necesario efectuar una prueba de medias, para determinar que tratamientos son diferentes entre sí.

Cuadro 14. Prueba de medias de Tukey para la variable altura de planta a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media cm | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 0         | 10.650   | A              |
| T 3         | 9.600    | A              |
| T 2         | 9.050    | AB             |
| T 4         | 8.700    | AB             |
| T 1         | 8.600    | AB             |
| T 5         | 8.280    | AB             |
| T 6         | 7.010    | CB             |
| T 7         | 6.570    | CB             |
| T 8         | 5.290    | C              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 14, se determinó que: los tratamientos T 0 y T 3, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los

demás y muestran una altura de planta de 10.65 cm y 9.60 cm respectivamente. Los tratamientos o sustratos T1, T2, T4 y T5, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, con una altura de planta de 9.05, 8.70, 8.60, 8.28 cm respectivamente. Los tratamientos T6 y T7, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, con alturas promedio de las plantas de 7.01 y 6.57 cms respectivamente. El tratamiento T8, es estadísticamente diferente a los demás, el cual mostró la menor altura de planta de 5.29 cm.

Es importante indicar que en esta etapa de desarrollo (60 DDS) las plantas están en pleno desarrollo y no es posible brindar una conclusión definitiva, sobre el tratamiento que permitirá lograr la mayor altura de planta, sin embargo se ve una tendencia en los tratamiento de T0 al T5, los cuales presentan una mayor altura en comparación con los tratamientos T6, T7 y T8, debido a las características físicas y químicas de los mismos.

En el cuadro 15, se presenta el análisis de varianza donde se muestra, la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta a los 90 días después de la siembra para los nueve tratamientos, donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 11.95%.

Cuadro 15. Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 368.2460000       | 46.0307500     | 13.85        | < .0001     | **  |
| Error                    | 36                | 119.6420000       | 3.3233889      |              |             |     |
| Total                    | 44                | 487.8880000       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 11.95%            |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

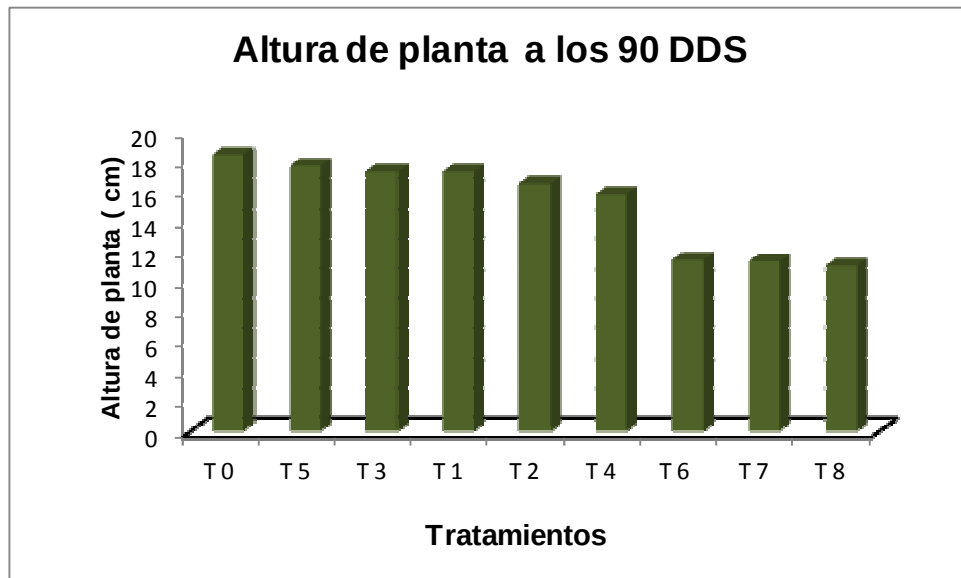
De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, al menos uno de los tratamientos o sustratos evaluados es diferente a los demás, por lo cual es necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Cuadro 16. Prueba de medias de Tukey para la variable altura de planta a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media cm | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 0         | 18.500   | A              |
| T 5         | 17.750   | A              |
| T 3         | 17.350   | A              |
| T 1         | 17.350   | A              |
| T 2         | 16.550   | A              |
| T 4         | 15.800   | A              |
| T 6         | 11.500   | B              |
| T 7         | 11.400   | B              |
| T 8         | 11.110   | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 16, se puede determinar que: los tratamientos T0, T5, T3, T1, T2 y T4, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran una altura de planta de 18.5, 17.75, 17.35, 17.35, 16.55, 15,50 cm respectivamente. Los tratamientos o sustratos T6, T7 y T8, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando las alturas de planta más bajas de 11.50, 11.40 y 11.11 cm respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Comportamiento de la altura de las planta de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

Como se observa en la gráfica 3, los tratamientos testigo, cinco, tres, uno, dos y cuatro son los que presentan una media en altura más alta, debido a las características físicas y químicas que presentan los sustratos, que le permiten a las plantas de pino crecer y desarrollarse de mejor forma que en el resto de los tratamientos, en esta etapa de crecimiento se puede apreciar una tendencia importante, donde el tratamiento testigo y el sustrato alternativo T5, son los que presentan medias mayores. Al comparar los sustratos alternativos con el testigo podemos concluir que el tratamiento T5, es el de mayor similitud al testigo, sin embargo entre los primeros cinco tratamientos no existen diferencias significativas en la variable altura de planta. Este comportamiento puede explicarse, porque estos tratamientos permiten una adecuada disponibilidad de agua y nutrientes.

En el cuadro 17, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos; el coeficiente de variación obtenido fue 9.45%.

Cuadro 17. Análisis de varianza para la variable altura de planta a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculad | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 389.3732711       | 48.6716589     | 15.92       | < .0001     | **  |
| Error                    | 36                | 110.0817600       | 3.0578267      |             |             |     |
| Total                    | 44                | 499.4550311       |                |             |             |     |
| Coeficiente de Variación | 9.45%             |                   |                |             |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

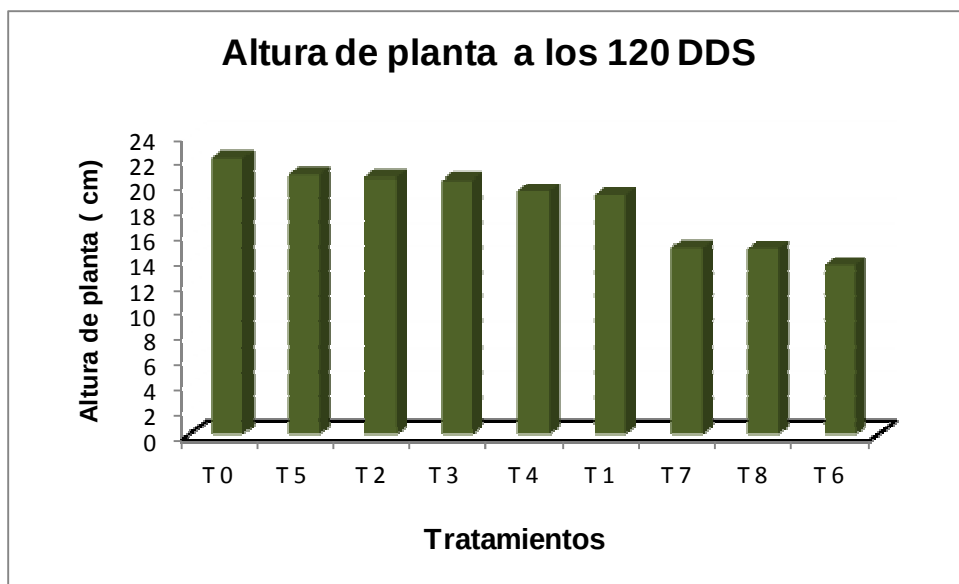
De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, permitirá determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo que es necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Cuadro 18. Prueba de medias de Tukey para la variable altura de planta a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media cm | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 0         | 22.164   | A              |
| T 5         | 20.826   | A              |
| T 2         | 20.636   | A              |
| T 3         | 20.414   | A              |
| T 4         | 19.625   | A              |
| T 1         | 19.290   | A              |
| T 7         | 15.000   | B              |
| T 8         | 14.950   | B              |
| T 6         | 13.600   | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestra en el cuadro 18, se determino que: los tratamientos (T0, T5, T2, T3, T4 y T1), son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran una altura de planta de 22.16, 20.82, 20.63, 20.41, 19.62 y 19.29 cm respectivamente. Los tratamientos (T7, T8, T6), son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando las alturas de planta más bajas de 15.00, 14.95 y 13.60 cm, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Comportamiento de la altura de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En la gráfica 4, se muestra el comportamiento de la altura de las plantas de pino en los diferentes sustratos bajo estudio, donde se puede observar que los tratamientos T0, a T5, son estadísticamente iguales, aunque el testigo es el que presenta mayor altura de planta 22.16 cm y el segundo valor más alto lo presentó el tratamiento T5, con 20.82 cm, esto se atribuye a las buenas características físicas y químicas de los sustratos las cuales son muy similares.

Los tratamientos (T7, T8 y T6), son los que presentaron menor altura de planta como se observa en la figura 4, debido a que dos de los tres tratamientos (T7 y T8), no poseen fibra de coco y el T7, varía con respecto a la proporción cascarilla de maní, lo cual influye de forma directa en las características físicas y químicas de los mismos.

Los tratamientos del T1 a T5 y el testigo (Peat moos), son los que favorecen de forma significativa el crecimiento en altura de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede).

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre la altura de las plantas producidas en los tratamientos.

### 6.3.3 Diámetro del tallo de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede)

Con el propósito de conocer la respuesta sobre diámetro del tallo de las plantas de pino en los diferentes sustratos, se realizaron mediciones de la variable a los 30, 60, 90 y 120, días después de la siembra (DDS), posteriormente se realizó análisis de varianza y prueba de medias para determinar las diferencias.

En el cuadro 19, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable diámetro del tallo a los 30 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que no existe diferencia significativa en los tratamientos para esta variable en un periodo de 30 días. El coeficiente de variación obtenido fue de 6.08%

Cuadro 19. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 0.07555111        | 0.00944389     | 2.03         | 0.0708      | NS  |
| Error                    | 36                | 0.16768000        | 0.00465778     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 0.24323111        |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 6.08%             |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a estos resultados, el diámetro de tallo de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), a los 30 días después de la siembra es estadísticamente igual y en ninguno de los tratamientos es diferente. Las medias de diámetro del tallos de la planta están dentro del rango 1.04 a 1.17 mm, sin embargo no son significativas.

En el cuadro 20, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable diámetro del tallo de planta a los 60 días



después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 5.24%.

Cuadro 20. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 0.05228000        | 0.00653500     | 1.78         | 0.1144      | NS  |
| Error                    | 36                | 0.13244000        | 0.00367889     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 0.18472000        |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 5.24 %            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, ninguno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, no es necesario efectuar una prueba de medias para determinar que tratamientos son diferentes entre sí. Las medias de diámetro del tallo de la planta están dentro del rango 1.11 a 1.22 mm, sin embargo no son significativas.

En el cuadro 21, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable diámetro del tallo de la planta a los 90 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 7.54%.

Cuadro 21. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 2.07716000        | 0.25964500     | 20.05        | < .0001     | **  |
| Error                    | 36                | 0.46612000        | 0.01294778     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 2.54328000        |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 7.54%             |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas

Fuente: Elaboración propia.

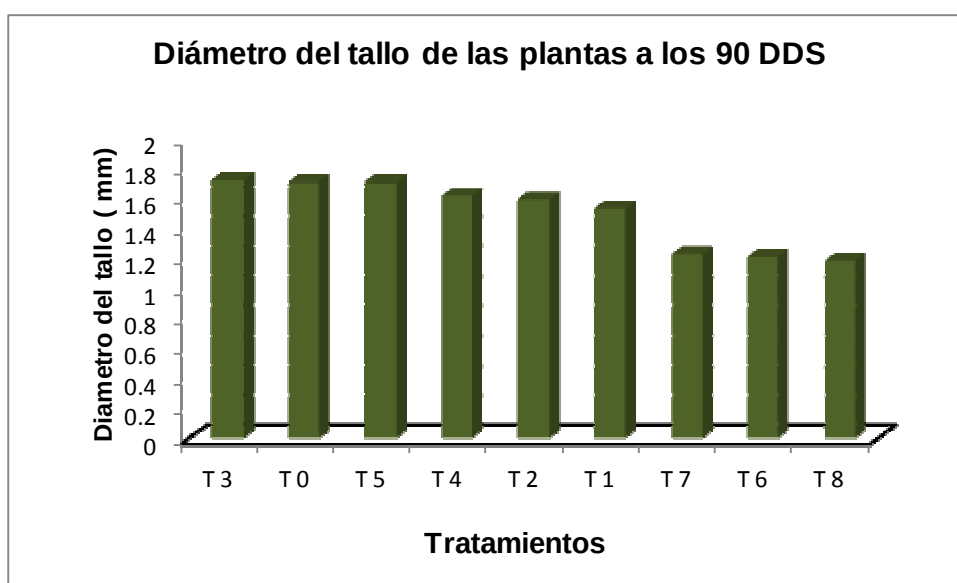
De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, permitirá determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo tanto fue necesario efectuar una prueba de medias, para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Cuadro 22. Prueba de medias de Tukey para la variable diámetro del tallo de la planta a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media mm | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 3         | 1.7260   | A              |
| T 0         | 1.7160   | A              |
| T 5         | 1.7140   | A              |
| T 4         | 1.6300   | A              |
| T 2         | 1.6040   | A              |
| T 1         | 1.5460   | A              |
| T 7         | 1.2360   | B              |
| T 6         | 1.2180   | B              |
| T 8         | 1.1940   | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 22, se establece que: los tratamientos T3, T0, T5, T4, T2 y T1, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran un diámetro de tallo de 1.72, 1.71, 1.71, 1.63, 1.60, 1.54 mm respectivamente. Los tratamientos o sustratos T7, T6 y T8 son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando los diámetros de tallo más bajos de 1.19 y 1.23 mm, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Comportamiento del diámetro del tallo de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En la gráfica 5, se observan el comportamiento del diámetro basal de las plantas de pino en los diferentes tratamientos. En esta etapa de crecimiento de las plantas de pino, los resultados muestran que el tratamiento T3 (Paet moss 20%, cascarilla de arroz 20%, fibra de coco 20%, carbón 15%, abono orgánico 15% y semolina 10%) presenta el valor más alto 1.72 mm, seguido del tratamiento testigo T0 (Peat moss 100%) con un valor de 1.71 mm y luego el tratamiento T5 (fibra de coco 40%, cascabillo de café 20%, carbón 15%, abono orgánico 15%, y semolina 10%) con un diámetro basal de 1.71 mm, aunque estos tratamientos son estadísticamente iguales.

En el cuadro 23, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable diámetro del tallo de planta de pino a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos T0 a T8, donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 6.47%.

Cuadro 23. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de pino a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculad | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 2.59760444        | 0.32470056     | 28.61       | < .0001     | **  |
| Error                    | 36                | 0.40852000        | 0.01134778     |             |             |     |
| Total                    | 44                | 3.00612444        |                |             |             |     |
| Coeficiente de Variación | 6.47%             |                   |                |             |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, permitirá determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo que fue necesario efectuar una prueba de medias, para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

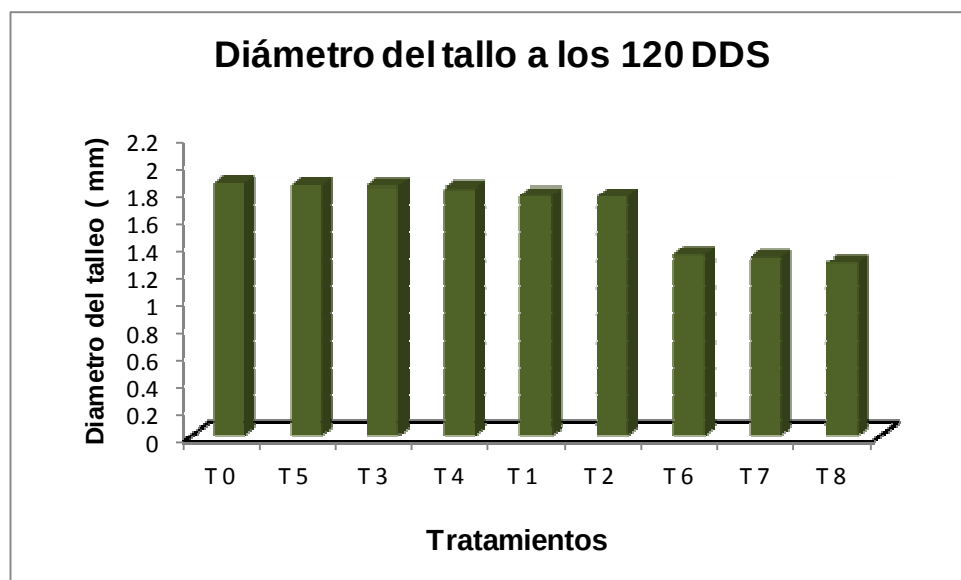
Cuadro 24. Prueba de medias de Tukey para la variable diámetro del tallo de planta a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media mm | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 0         | 1.8540   | A              |
| T 5         | 1.8400   | A              |
| T 3         | 1.8380   | A              |
| T 4         | 1.8180   | A              |
| T 1         | 1.7740   | A              |
| T 2         | 1.7700   | A              |
| T 6         | 1.3360   | B              |
| T 7         | 1.3160   | B              |
| T 8         | 1.2780   | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestra en el cuadro 24, se establece que: los tratamientos T0, T5, T3, T4, T1 y T2, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran un diámetro del tallo de 1.85, 1.84, 1.83, 1.81, 1.77 y 1.77 mm, respectivamente. Los tratamientos o sustratos T6, T7 y T8 son

estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando los diámetros del tallo más bajos de 1.33, 1.31 y 1.27 mm, respectivamente.

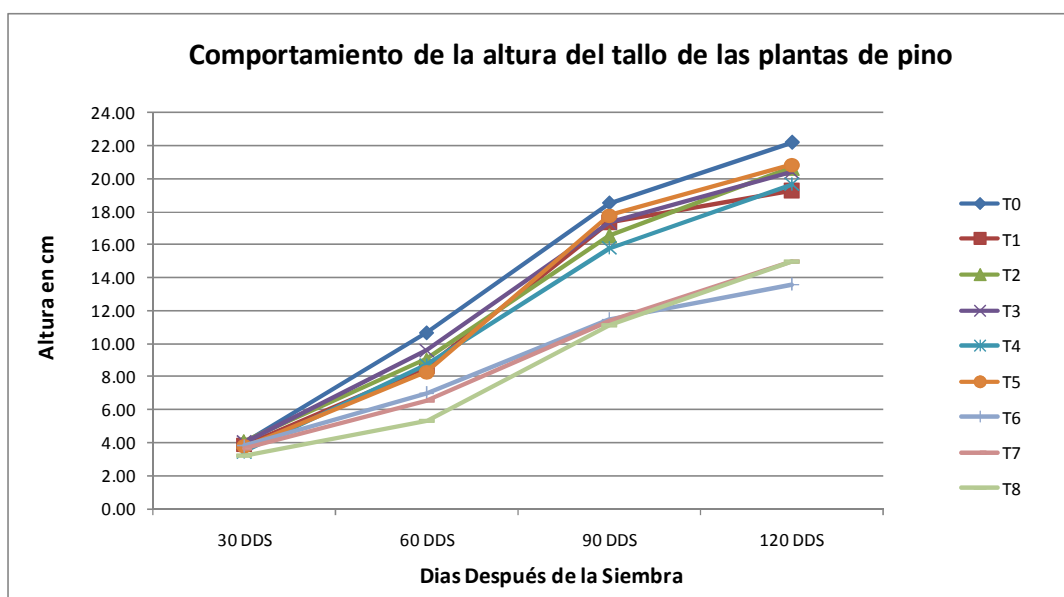


Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6. Comportamiento del diámetro del tallo de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

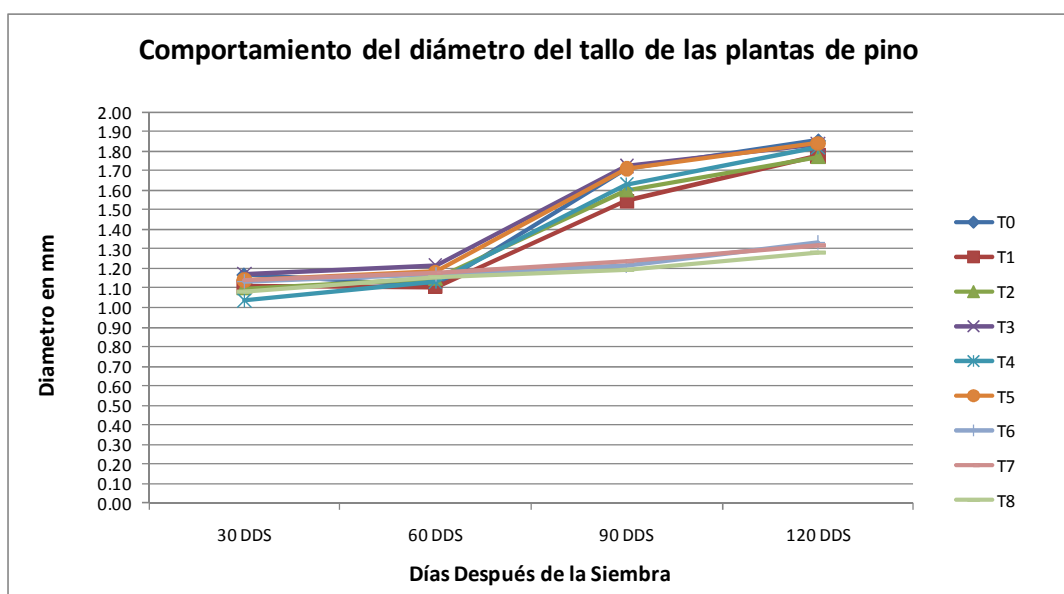
En la gráfica 6, se muestra el comportamiento del diámetro del tallo de las plantas de pino en los diferentes sustratos bajo estudio a los 120 DDS, donde se puede observar que el tratamiento testigo es el que mayor diámetro presenta con 1.85 mm, seguido del tratamiento T5, con un diámetro de 1.84, a pesar de la diferencias en el diámetro del tratamiento del T1 a T5, incluyendo el T0, son estadísticamente iguales. Por otra parte los tratamientos T6, T7, y T8, presentaron menores valores (1.27 a 1.33 mm).

Los resultados de altura de la planta y diámetro del tallo muestran que los mejores rendimientos se obtuvieron en el tratamiento testigo y los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, los cuales son estadísticamente similares.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7. Comportamiento de la altura de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 8. Comportamiento del diámetro basal de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En las gráficas 7 y 8, se puede observar que los tratamientos que mostraron mejor rendimiento en la variable altura fueron el tratamiento testigo (T0), tratamiento T5, luego el tratamiento T3, tratamiento T4 y tratamiento T1. Los tratamientos que presentaron mejor desarrollo en diámetro basal, fueron el tratamiento testigo (T0), tratamiento T5 y tratamiento T3; luego el tratamiento T4, tratamiento T1 y tratamiento T2. Los tratamientos que sobresalen en ambas variables son el tratamiento testigo (T0) y tratamiento T5; seguido por el tratamiento T3, tratamiento T4 y tratamiento T1.

El tratamiento testigo (T0), es el conformado por 100% Peat moss, el tratamiento cinco está conformado por el 40% de fibra de coco, 20% cascabillo de café, 15% carbón vegetal, 15% Bocashi y 10% semolina. Comparando la composición de los sustratos, es posible inferir que la fibra de coco y el cascabillo de café son componentes que favorecen sus características físicas y químicas, las cuales a su vez favorecen el crecimiento de las plantas de pino, brindando un sustrato con buenas características; así mismo le sigue la cascarilla de arroz y la cascarilla de maní que combinados en las proporciones adecuadas brinda un sustrato con buenas características para la producción de plantas de pino en contenedor.

Los tratamientos T6, T7 y T8, mostraron bajo desarrollo en las variables evaluadas, donde la combinación de fibra de coco-maní en proporciones diferentes y cascarilla de arroz-maní no mostraron resultados satisfactorios.

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre el diámetro de las plantas producidas en los tratamientos.

#### **6.3.4 Materia seca del tallo de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede)**

Con el propósito de evaluar la respuesta de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas de pino se realiza el análisis de la variable materia seca del tallo.

En el cuadro 25, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable materia seca del tallo al final de la fase de producción, a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos T0 a T8,

donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 18.48%.

Cuadro 25. Análisis de varianza para la variable materia seca del tallo de las plantas de pino en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 10.65516644       | 1.33189581     | 7.38         | < .0001     | **  |
| Error                    | 36                | 6.49537320        | 0.18042703     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 17.15053964       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 18.48%            |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas

Fuente: Elaboración propia .

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo que fue necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

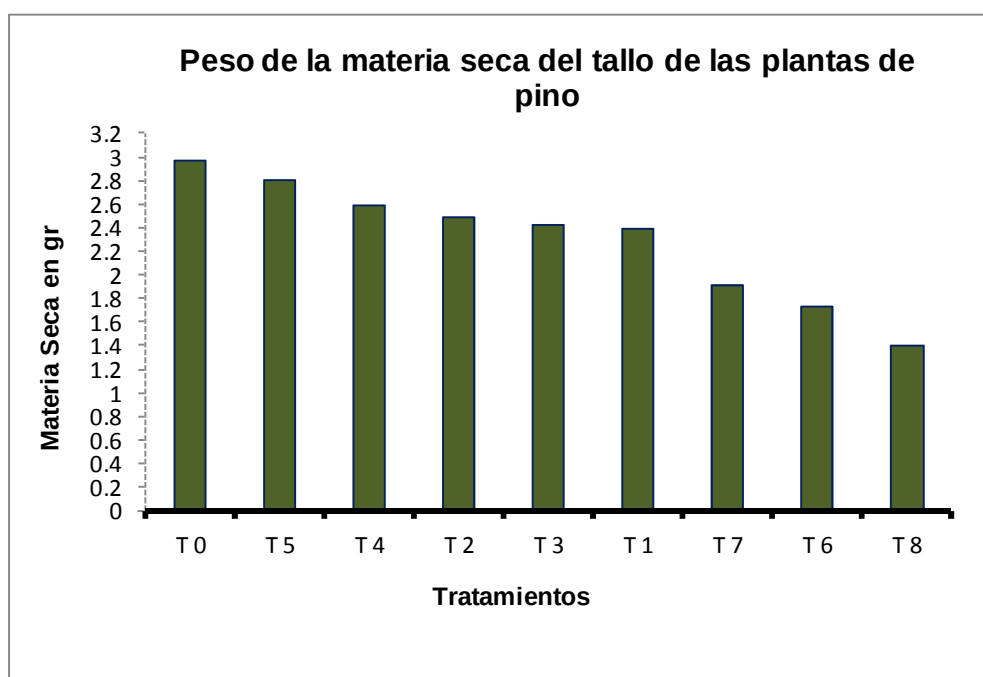
Cuadro 26. Prueba de medias de Tukey para la variable materia seca del tallo de las plantas de pino a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media gr | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 0         | 2.9674   | A              |
| T 5         | 2.8008   | A              |
| T 4         | 2.5804   | AB             |
| T 2         | 2.4908   | AB             |
| T 3         | 2.4264   | AB             |
| T 1         | 2.3882   | AB             |
| T 7         | 1.9136   | CB             |
| T 6         | 1.7222   | CB             |
| T 8         | 1.3984   | C              |

Fuente: Elaboración propia.



Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 26, se establece que: los tratamientos T0 y T5, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran un rendimiento de materia seca del tallo de 2.9674 g y 2.8008 g respectivamente. Los tratamientos o sustratos T4, T2, T3 y T1, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando rendimiento de materia seca del tallo de 2.58, 2.49, 2.42 y 2.38 g, respectivamente. Estadísticamente el tratamiento T8, es diferente a todos los demás y es el que presentó un menor peso seco del tallo con 1.39 g.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 9. Comportamiento del rendimiento de materia seca del tallo de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013.

En la gráfica 9 y el cuadro 26, se observa que los tratamientos que sobresalen son el tratamiento testigo (T0) y tratamiento T5, pues son estadísticamente similares, aunque se aprecian pequeñas diferencias en los valores medios de la materia seca del tallo de las plantas producidas en los diferentes sustratos, debido a las características físicas y químicas que muestran los mismos, lo cual permite un medio adecuado para el crecimiento de las plantas de pino. Las plantas producidas en los tratamientos T4, T2,

T3 y T1, el rendimiento de materia seca, del tallo de las plantas producidas es estadísticamente diferente a los dos primeros; sin embargo, se pueden considerar para la producción de plantas de pino, ya que las plantas mostraron un buen crecimiento y desarrollo aunque no los valores de rendimiento de materia seca más altos. Por el contrario los tratamientos T6, T7 y T8, mostraron un bajo rendimiento de materia seca del tallo y de acuerdo a los resultados, estos no ofrecen un medio adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas de pino, debido probablemente a las características físicas y químicas que no permiten una buena interacción con la planta.

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre el materia seca del tallo de las plantas producidas en los tratamiento

### 6.3.5 Materia seca de raíz de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede)

Con el propósito de evaluar la respuesta de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas de pino se realiza el análisis de la variable materia seca de la raíz, lo cual permite determinar la influencia del sustrato sobre el desarrollo radicular.

En el cuadro 27, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable materia seca de la raíz al final de la fase de producción, a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos T0 a T8, donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 18.40%.

Cuadro 27. Análisis de varianza para la variable materia seca de la raíz de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 0.56109524        | 0.07013691     | 8.10         | < .0001     | **  |
| Error                    | 36                | 0.31187440        | 0.00866318     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 0.87296964        |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 18.40%            |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

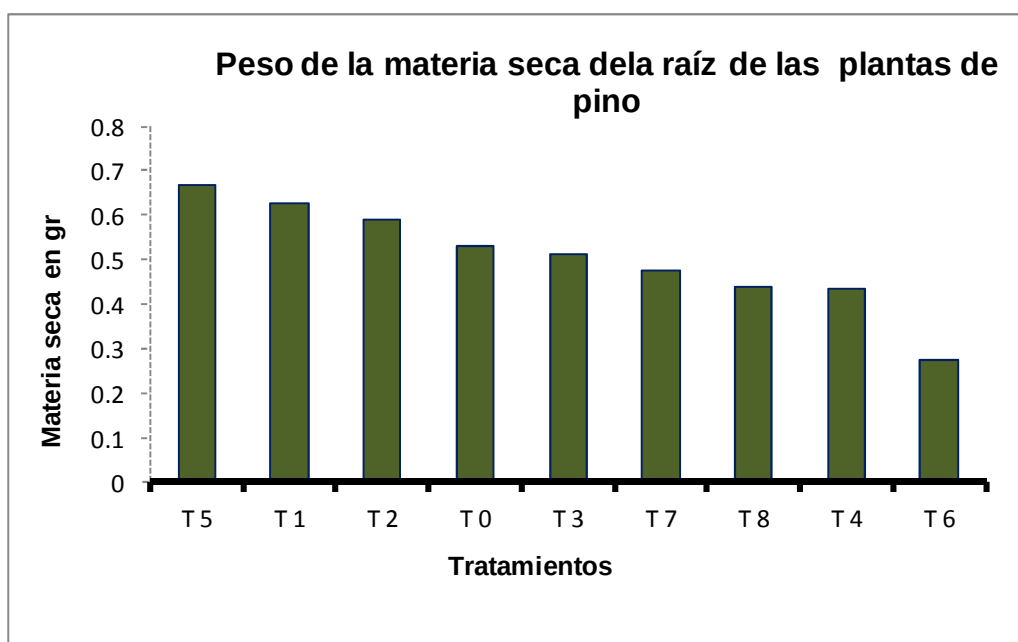
De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados son diferentes a los demás, por lo q fue necesario necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Cuadro 28. Prueba de medias de Tukey para la variable materia seca de la raíz de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media gr | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 5         | 0.66760  | A              |
| T 1         | 0.62620  | AB             |
| T 2         | 0.59000  | AB             |
| T 0         | 0.53220  | AB             |
| T 3         | 0.51220  | AB             |
| T 7         | 0.47540  | AB             |
| T 8         | 0.43960  | CB             |
| T 4         | 0.43540  | CB             |
| T 6         | 0.27460  | C              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 28, el tratamiento T5, es estadísticamente diferente a los demás, mostrando el valor más alto de rendimiento en materia seca de la raíz 0.667 g. Los tratamientos T1, T2, T0, T3 y T7, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran un rendimiento de materia seca de la raíz de 0.6262, 0.590, 0.532, 0.512 y 0.4754 g, respectivamente. Los tratamientos T8 y T4, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando rendimientos de materia seca de la raíz de 0.439 y 0.435 g respectivamente. Estadísticamente el tratamiento T6, es diferente a todos los demás y es el que presentó un menor rendimiento de peso seco de la raíz 0.274 g.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10. Comportamiento del rendimiento de materia seca de la raíz de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013.

En la gráfica 10 y el cuadro 28, se observa que el tratamiento con mayor rendimiento de materia seca de la raíz es el T5, el que es estadísticamente superior a los demás tratamientos, las características físicas y químicas de este sustrato permitieron que se observara un mayor rendimiento de materia seca de la raíz, debido principalmente al alto contenido de nutrientes especialmente del fósforo (276.80 ppm de P) que combinada en las propiedades físicas permite un mejor desarrollo del sistema radicular. El tratamiento T5, está conformado por: 40% de fibra de coco, 20% de cascabillo de café, 15 carbón natural, 15 de abono orgánico y 10% de semolina.

Las plantas producidas en los tratamientos T1, T2, T3 y T7 mostraron un rendimiento de materia seca de la raíz estadísticamente igual al tratamiento testigo (T0), lo cual nos indica que por sus características físicas y químicas permiten un desarrollo radicular similar a la turba rubia (Peat moss).

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre el materia seca de raíz de las plantas producidas en los tratamiento

### 6.3.6 Calidad de adobe de las plantas de pino producidas en contenedor

Con el fin de evaluar las plantas producidas en los diferentes sustratos o tratamientos, se estudio la variable calidad de adobe al momento que las plantas están listas para el traslado al campo definitivo (120 DDS). Esta variable se analizó con base al porcentaje de adobe que sale íntegro del contenedor.

En el cuadro 29, se presentan los resultados promedio obtenidos de las variables calidad de adobe con base el porcentaje de adobe que sale del contenedor, para cada uno de los sustratos evaluados.

Cuadro 29. Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de adobe que sale del contenedor a los 120 días después de la siembra. Chiquimula. 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de adobe que sale del contenedor |
|-------------|---------------------------------------------|
| T 0         | 93.750                                      |
| T 3         | 87.224                                      |
| T 1         | 84.998                                      |
| T 5         | 84.166                                      |
| T 4         | 81.528                                      |
| T 2         | 79.168                                      |
| T 7         | 77.358                                      |
| T 6         | 75.554                                      |
| T 8         | 60.970                                      |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 30, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable calidad de adobe al final de la fase de producción, a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 10.84%.

Cuadro 30. Análisis de varianza para la variable calidad de adobe de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 3365.140200       | 420.642525     | 5.52         | 0.0001      | **  |
| Error                    | 36                | 2741.730680       | 76.1591860     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 6106.870880       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 10.84%            |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que al menos uno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo que fue necesario efectuar una prueba de medias, para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Cuadro 31. Prueba de medias de Tukey para la variable calidad de adobe de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media % | Grupo de Tukey |
|-------------|---------|----------------|
| T 0         | 93.750  | A              |
| T 3         | 87.224  | A              |
| T 1         | 84.998  | A              |
| T 5         | 84.166  | A              |
| T 4         | 81.528  | A              |
| T 2         | 79.168  | A              |
| T 7         | 77.358  | AB             |
| T 6         | 75.554  | AB             |
| T 8         | 60.970  | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 31, los tratamientos T0, T3, T1, T5, T4 y T2, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, y muestran un porcentaje de adobe que sale del contenedor de 93.75, 87.22, 85.00, 84.17, 81.53 y 77.36%, respectivamente. Los tratamientos T7 y T6 son

estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando un porcentaje de adobe que sale del contenedor de 77.36 y 75.55%, respectivamente. Estadísticamente el tratamiento T8, es diferente a todos los demás y es el que presentó un menor porcentaje de adobe que sale del contenedor de 60.97%.

En el cuadro 32, se muestra la escala para la calificación de la calidad de adobe de plantas forestales, la cual fue utilizada para la calificación de la presente variable.

Cuadro 32. Escala de calidad de adobe utilizada en la evaluación de plantas forestales de pino en contenedor. Chiquimula 2013.

| <b>Calidad de adobe</b> | <b>Porcentaje de adobe</b>                     |
|-------------------------|------------------------------------------------|
| <b>1</b>                | El 100% del adobe sale íntegro                 |
| <b>2</b>                | Sale el 90% del adobe                          |
| <b>3</b>                | Sale el 75% del adobe                          |
| <b>4</b>                | Sale el 50% del adobe                          |
| <b>5</b>                | Sale menos del 50% del adobe o la raíz desnuda |

Fuente: Quesada y Méndez 2005.

Cuadro 33. Calidad de adobe para las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en los diferentes tratamientos. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de adobe que sale del contenedor | Escala de adobe |
|-------------|---------------------------------------------|-----------------|
| T 0         | 93.750                                      | 1               |
| T 3         | 87.224                                      | 3               |
| T 1         | 84.998                                      | 3               |
| T 5         | 84.166                                      | 3               |
| T 4         | 81.528                                      | 3               |
| T 2         | 79.168                                      | 3               |
| T 7         | 77.358                                      | 3               |
| T 6         | 75.554                                      | 3               |
| T 8         | 60.970                                      | 4               |

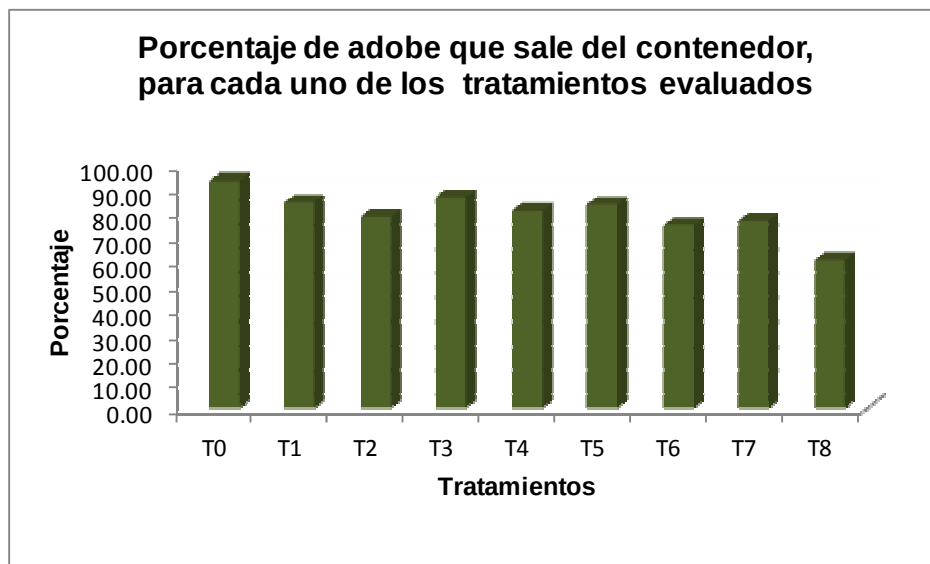
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro 33 y la gráfica 11, el tratamiento testigo (T0) presentó la mejor calidad de adobe con base a la escala del cuadro 32, calidad 1 con un 93.75% del adobe que sale del contenedor, seguido por los tratamientos T3, T1, T5, T4, T2, los cuales de acuerdo a la prueba de medias de Tukey, son estadísticamente iguales entre sí y al testigo (T0), sin embargo los tratamientos T3, T1, T5, T4 y T2 tienen una calidad de adobe de 3 de acuerdo a la escala, los sustratos que tiene dentro su composición fibra de coco y Peat moss tienen mejor calidad de adobe a excepción del tratamiento T6. La calidad de adobe está estrechamente relacionada con el desarrollo radicular y es necesario brindarle a la planta el tiempo necesario para que forme el cono en el sistema radicular de acuerdo al volumen del contenedor.

Es necesario que el sistema radicular este bien desarrollado pero también es importante el amarre y cohesión de los materiales que forman el sustrato, queda evidenciado en el tratamiento T2 el cual contiene piedra volcánica, la cual le confiere un menor porcentaje de adobe que sale del contenedor. Pero además de las características del sustrato otro factor de importancia de la calidad de adobe es el desarrollo del sistema radicular y el tiempo necesario para que forme el cono radicular en el contenedor.



Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre la calidad adobe de las plantas producidas en los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11. Porcentaje de adobe que sale del contenedor de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.

### 6.3.7 Plantas trasplantables de pino (*P. oocarpa* Schiede)

Con el propósito de determinar la respuesta de los sustratos con el rendimiento (porcentaje de plantas trasplantables) al final de proceso de la producción a los 120 días después de la siembra, se evaluó la variable porcentaje de plantas trasplantables, el porcentaje de plantas que de acuerdo al desarrollo y crecimiento están listas para ser llevadas al campo definitivo.

En el cuadro 34, se presentan los resultados promedio obtenidos de las variables porcentaje de plantas trasplantables, para cada uno de los sustratos evaluados.

Cuadro 34. Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de plantas trasplantables a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de plantas trasplantables |
|-------------|--------------------------------------|
| T 0         | 90.000                               |
| T 5         | 89.998                               |
| T 1         | 88.332                               |
| T 3         | 84.168                               |
| T 4         | 83.332                               |
| T 2         | 80.832                               |
| T 7         | 66.666                               |
| T 8         | 65.000                               |
| T 6         | 60.000                               |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 35, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable porcentaje de plantas trasplantables, al final de la fase de producción a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 6.46%.

Cuadro 35. Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas trasplantables de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 5431.035844       | 678.879481     | 26.26        | < . 0001    | **  |
| Error                    | 36                | 930.544720        | 25.848464      |              |             |     |
| Total                    | 44                | 6361.580564       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 6.46%             |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, al menos uno de los tratamientos o sustratos evaluados es diferente a los demás, por lo que necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

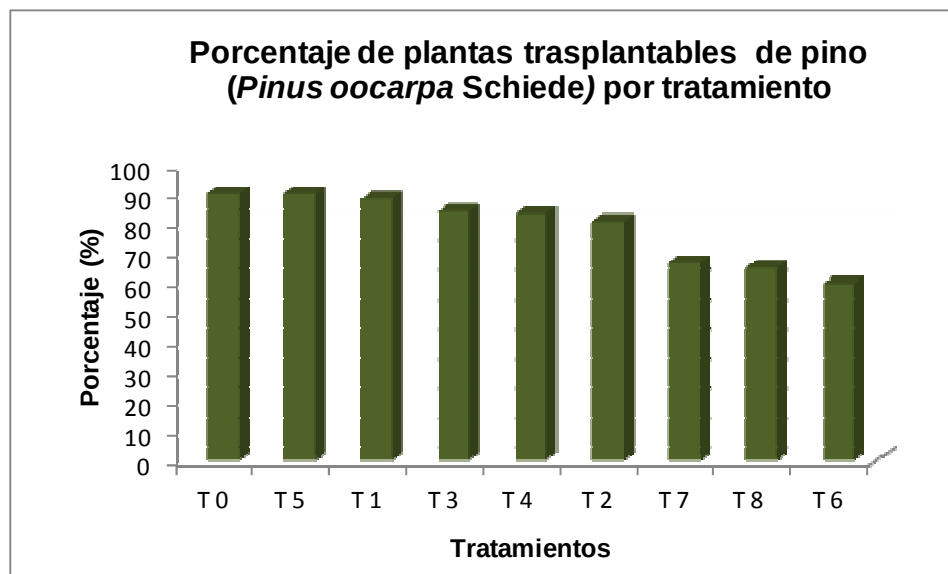
Cuadro 36. Prueba de medias de Tukey para la variable porcentaje de plantas trasplantables de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en contenedor. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media % | Grupo deTukey |
|-------------|---------|---------------|
| T 0         | 90.000  | A             |
| T 5         | 89.998  | A             |
| T 1         | 88.332  | A             |
| T 3         | 84.168  | A             |
| T 4         | 83.332  | A             |
| T 2         | 80.832  | A             |
| T 7         | 66.666  | B             |
| T 8         | 65.000  | B             |
| T 6         | 60.000  | B             |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 36, los tratamientos T0, T5, T1, T3, T4 y T2, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, y muestran un porcentaje de plantas trasplantables de 90.00, 90.00, 88.33, 84.17, 83.33 y 80.83 %, respectivamente. Los tratamientos T7, T8 y T6, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando un porcentaje de plantas trasplantables de 66.67, 65.00 y 60.00%, respectivamente. El tratamiento T6, es el que presentó el menor porcentaje de plantas trasplantables.

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre las plantas trasplantables producidas en los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 12. Porcentaje de plantas trasplantables de las planta de pino (*P. oocarpa* Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.

#### 6.3.8. Indicadores para la evaluar la calidad de las plantas de pino producidas en los diferentes sustratos

Los indicadores utilizados para evaluar la calidad de las plantas fueron el Índice de Calidad de Dickson ICD y el Índice de Esbeltez IE, como se observa en el cuadro 37.

El índice de Esebeltez es una medida de morfología de la planta; define individuos altos y delgados, o bajos y robustos y muestra el desbalance entre la parte aérea y la raíz.

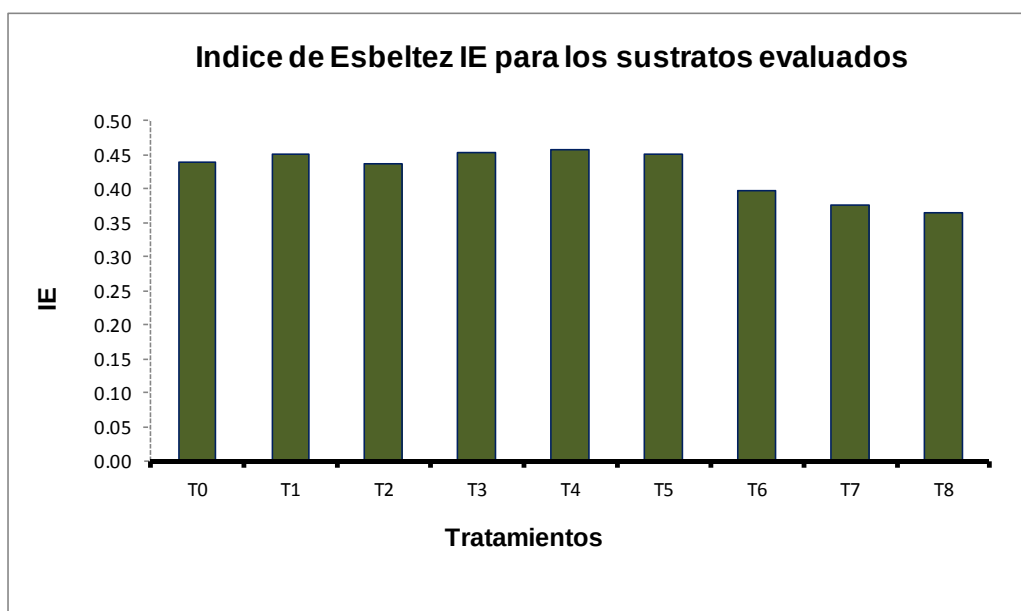
El Índice de la Calidad de Dickson ICD representa las plantas de mejor calidad, lo cual implica que por una parte el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radial están equilibradas.

En la relación parte área/raíz (Tompson 1987), la mejor calidad de la planta se obtiene cuando la parte aérea relativamente grande y la raíz mediana, lo cual garantiza una mayor supervivencia ya que evita que la absorción exceda a la capacidad de transpiración.

Cuadro 37. Indicadores de calidad de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), producidas en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Indice de Calidad de Dickson ICD (1960) | Indice de Esbeltez IE | Area/Raíz (PSPa/PSR) |
|-------------|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| T0          | 0.200                                   | 0.44                  | 5.576                |
| T1          | 0.205                                   | 0.45                  | 3.814                |
| T2          | 0.194                                   | 0.44                  | 4.222                |
| T3          | 0.185                                   | 0.45                  | 4.737                |
| T4          | 0.180                                   | 0.46                  | 5.927                |
| T5          | 0.224                                   | 0.45                  | 4.195                |
| T6          | 0.121                                   | 0.40                  | 6.272                |
| T7          | 0.155                                   | 0.38                  | 4.025                |
| T8          | 0.124                                   | 0.37                  | 3.181                |

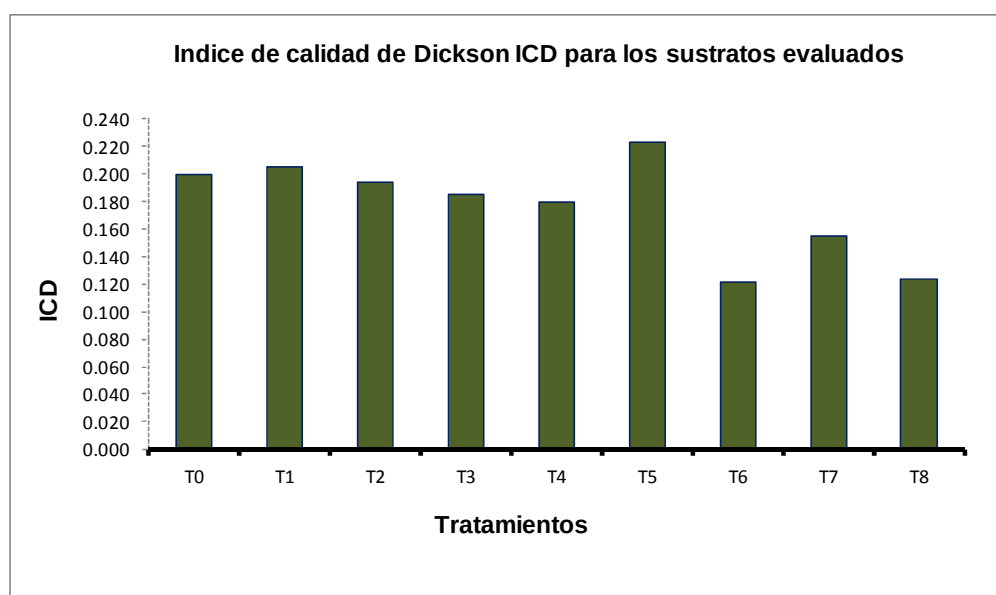
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 13. Índice de Esbeltez IE para evaluar la calidad de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

El Índice de Esbeltez relaciona la altura y el diámetro basal, por lo que se determina con la división siguiente: Índice de Esbeltez = altura total/diámetro basal. Este valor debe ser menor de 6, ya que si lo sobrepasa, la planta es susceptible a sufrir daños mecánicos causados por el viento. En el presente estudio todos los tratamientos muestran valores muy por debajo del valor 6 que es requerido por este indicador. Ver cuadro 37 y gráfica 13.

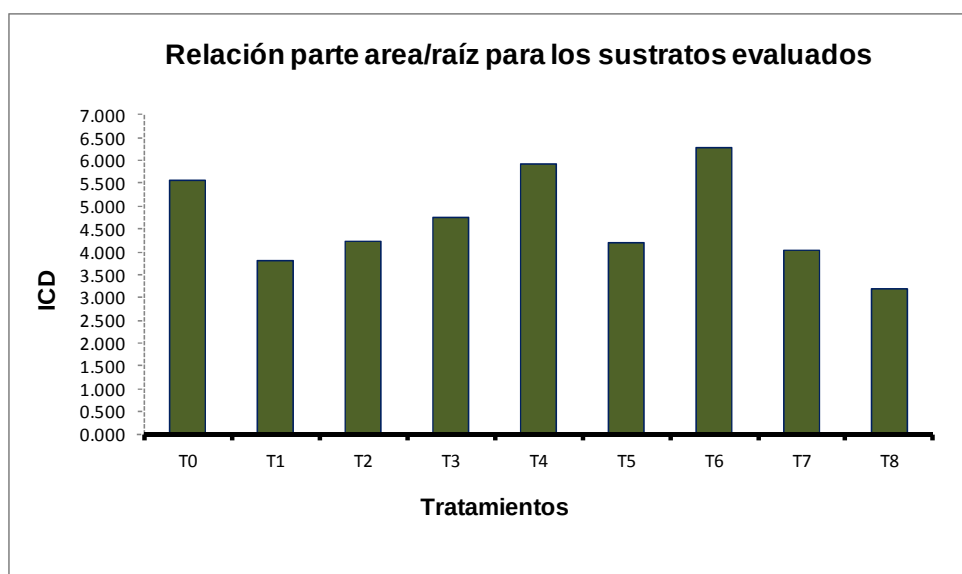


Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 14. Índice de Calidad de Dickson para evaluar la calidad de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

El Índice de Calidad de Dickson relaciona el peso seco de la planta y las variables altura y diámetro basal, cuyo producto resultante es preferible que sea mayor de 0.2. El Índice de Dickson se expresa de la forma siguiente:

Este indicador de calidad privilegia el crecimiento en diámetro basal de la planta, bajo el valor de esbeltez, el crecimiento del sistema radicular y alto valor de biomasa en general. En el presente estudio, únicamente los tratamientos T5, T1 y T0, superan el valor de 0.2 definido como requerimiento mínimo de calidad por este indicador, con valores de 0.224, 0.205 y 0.2 respectivamente, como se observa en la gráfica 14.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 15. Relación parte aérea/raíz para evaluar la calidad de las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En la gráfica 15, se presenta la relación parte área/raíz para los diferentes tratamientos donde se puede observar que el tratamientos testigo (T0), tiene una relación parte área/raíz de 5.57 y el tratamiento T5, una relación parte área/raíz de 4.19, permite comparar el desarrollo aéreo con el desarrollo del sistema radicular; como se indicó anteriormente los dos tratamientos (T0 y T5), muestran mayor peso de materia seca del tallo y raíz, presentan relación parte área/raíz de 5.57 y 4.19, respectivamente.

#### 6.4 Respuesta de la evaluación de sustratos alternativos en la producción de plantas de cedro (*C. odorata* L.)

En las plantas de cedro se evaluaron las variables agronómicas: porcentaje de germinación, altura de planta, diámetro en la base de la planta, materia seca del tallo, materia seca de la raíz, calidad de adobe y porcentaje de plantas trasplantables, en el vivero de las instalaciones del Centro Universitario de Oriente –CUNORI, en el municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula.

En el cuadro 38 se presentan los resultados promedio obtenidos de la variable porcentaje de germinación, en los sustratos alternativos evaluados y el testigo.

Cuadro 38. Resultados promedio obtenidos de la variable porcentaje de germinación de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Materiales que lo Conforman                                                        |                                        | Porcentaje de Germinación (%)<br>Días después de la siembra (DDS) |        |        | Tratamiento | Materiales que lo Conforman                                                                    |                                        | Porcentaje de Germinación (%)<br>Días después de la siembra (DDS) |        |        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------|--------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------|--------|
|             | Material                                                                           | Porcentaje                             | 8                                                                 | 15     | 24     |             | Material                                                                                       | Porcentaje                             | 8                                                                 | 15     | 24     |
| T0          | Peat moss                                                                          | 100%                                   | 51.67                                                             | 100.00 | 100.00 | T5          | Fibra de coco<br>Cascabillo de café<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina                    | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 47.50                                                             | 100.00 | 100.00 |
| T1          | Fibra de coco<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina       | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 49.17                                                             | 100.00 | 100.00 | T6          | Fibra de coco<br>Cascarilla de maní<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina                    | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 45.83                                                             | 100.00 | 100.00 |
| T2          | Fibra de coco<br>Piedra Volcánica<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina          | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 46.67                                                             | 100.00 | 100.00 | T7          | Cascarilla de maní<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina              | 40%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10%        | 50.00                                                             | 100.00 | 100.00 |
| T3          | Peat moss<br>Cascarilla de arroz<br>Fibra de coco<br>Carbón<br>Bocashi<br>Semolina | 20%<br>20%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10% | 47.50                                                             | 100.00 | 100.00 | T8          | Peat moss<br>Cascarilla de maní<br>Cascarilla de arroz<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina | 20%<br>20%<br>20%<br>15%<br>15%<br>10% | 48.33                                                             | 100.00 | 100.00 |
| T4          | Fibra de coco<br>Cascarilla de maní<br>Carbón<br>Abono Organico<br>Semolina        | 30%<br>30%<br>15%<br>15%<br>10%        | 46.67                                                             | 100.00 | 100.00 |             |                                                                                                |                                        |                                                                   |        |        |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el cuadro 38, a los 15 días después de la siembra se obtuvo el cien por ciento de germinación de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), en los ocho sustratos alternativos evaluados y el testigo T0 (Peat moss).

En el cuadro 39, se presentan los resultados promedio obtenidos de las variables: altura de planta, diámetro de la base del tallo, materia seca del tallo y materia seca de la raíz, en los sustratos evaluados y el testigo.



Cuadro 39. Valores promedio obtenidos de las variables: altura de planta, diámetro del tallo, materia seca del tallo y raíz de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), en la evaluación de sustratos alternativos. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Materiales que lo Conforman |            | Altura de Planta en cm<br>Días después de la siembra (DDS) |       |       |       | Diámetro de Tallo en mm<br>Días después de la siembra (DDS) |      |      |      | Materia Seca en g |       |
|-------------|-----------------------------|------------|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------------------------------------------|------|------|------|-------------------|-------|
|             | Material                    | Porcentaje | 30                                                         | 60    | 90    | 120   | 30                                                          | 60   | 90   | 120  | Tallo             | Raíz  |
| T0          | Peat moss                   | 100%       | 7.37                                                       | 17.95 | 33.65 | 35.88 | 1.58                                                        | 3.50 | 4.99 | 6.17 | 22.944            | 2.074 |
| T1          | Fibra de coco               | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de arroz         | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Carbón                      | 15%        | 7.03                                                       | 17.85 | 29.70 | 32.41 | 1.64                                                        | 3.32 | 5.40 | 6.55 | 24.51             | 3.53  |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T2          | Fibra de coco               | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Piedra Volcánica            | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Carbón                      | 15%        | 7.07                                                       | 16.32 | 29.60 | 33.76 | 1.71                                                        | 3.47 | 5.29 | 6.38 | 22.26             | 2.07  |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T3          | Peat moss                   | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de arroz         | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Fibra de coco               | 20%        | 7.61                                                       | 16.25 | 29.80 | 33.60 | 1.68                                                        | 3.51 | 5.48 | 5.95 | 22.66             | 2.38  |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Bocashi                     | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T4          | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Fibra de coco               | 30%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de maní          | 30%        | 7.35                                                       | 17.72 | 32.50 | 35.40 | 1.72                                                        | 3.53 | 5.28 | 5.90 | 21.09             | 1.94  |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T5          | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Fibra de coco               | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascabillo de café          | 20%        | 6.07                                                       | 12.23 | 23.50 | 27.56 | 1.70                                                        | 3.15 | 4.45 | 5.74 | 18.91             | 2.09  |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T6          | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Fibra de coco               | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de maní          | 20%        | 7.25                                                       | 16.24 | 32.05 | 33.94 | 1.70                                                        | 3.09 | 4.35 | 6.11 | 21.25             | 1.83  |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T7          | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de maní          | 40%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de arroz         | 20%        | 7.44                                                       | 16.47 | 27.50 | 30.73 | 1.62                                                        | 3.70 | 5.29 | 6.09 | 21.60             | 3.11  |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
| T8          | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Peat moss                   | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Cascarilla de maní          | 20%        | 7.46                                                       | 17.75 | 30.65 | 36.22 | 1.75                                                        | 3.78 | 5.22 | 6.07 | 19.95             | 1.66  |
|             | Cascarilla de arroz         | 20%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Carbón                      | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Abono Organico              | 15%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |
|             | Semolina                    | 10%        |                                                            |       |       |       |                                                             |      |      |      |                   |       |

Fuente: Elaboración propia.

Los mejores rendimientos al menos una de tres de las variables indicadas, se presentaron en el tratamiento testigo T0 (Peat moss) y los tratamientos T1, T2, T3 y T6.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por cada una de las variables en los sustratos bajo estudio.

#### 6.4.1 Porcentaje de germinación de plantas de cedro (*C. odorata* L.)

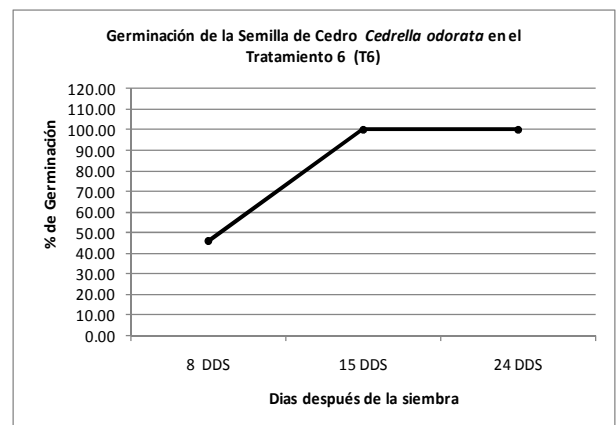
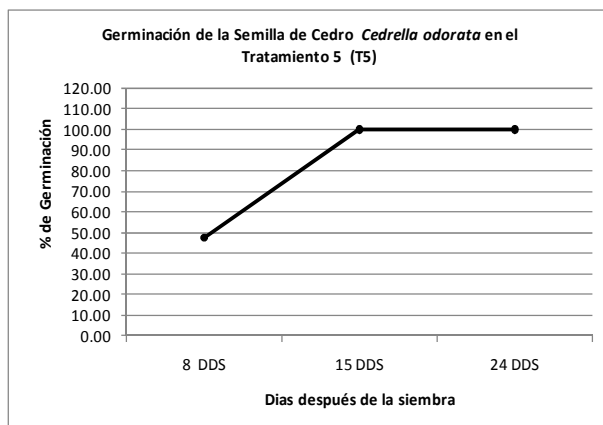
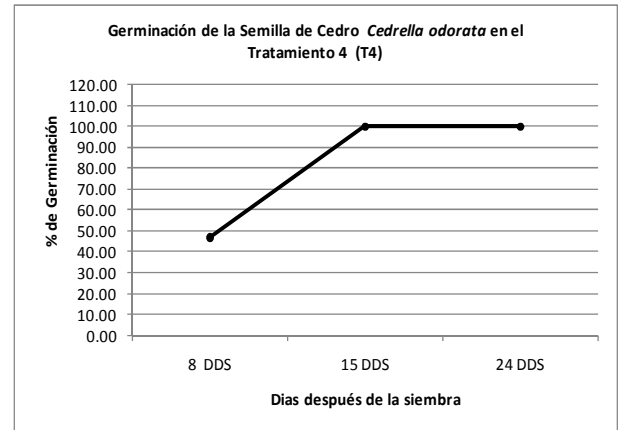
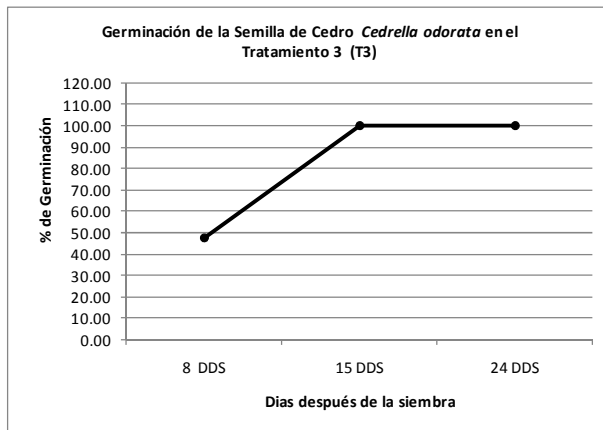
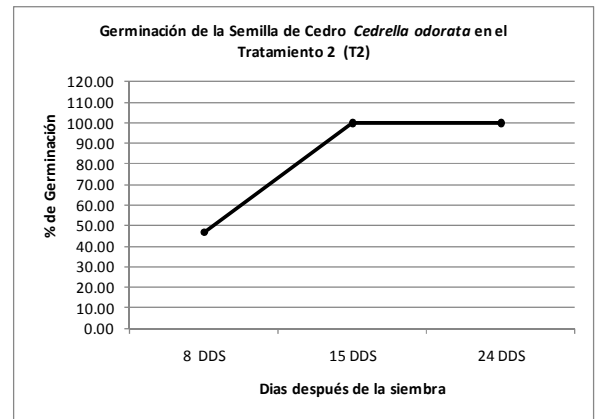
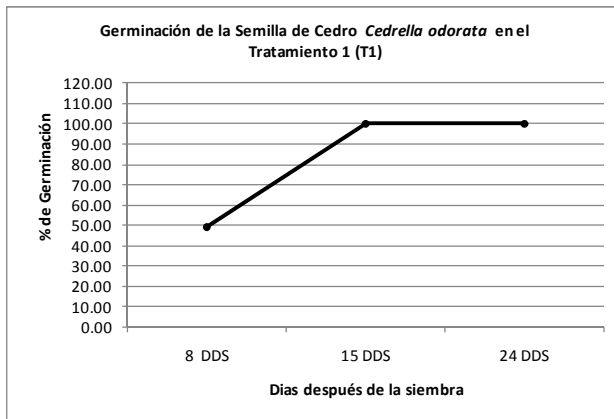
Con el propósito de evaluar la respuesta de germinación de las semillas de cedro en los diferentes sustratos evaluados, se cuantificó el porcentaje de germinación a los 8, 15 y 24 días después de la siembra (DDS). En el cuadro 40, se presenta el porcentaje de germinación promedio para cada uno de los tratamientos evaluados.

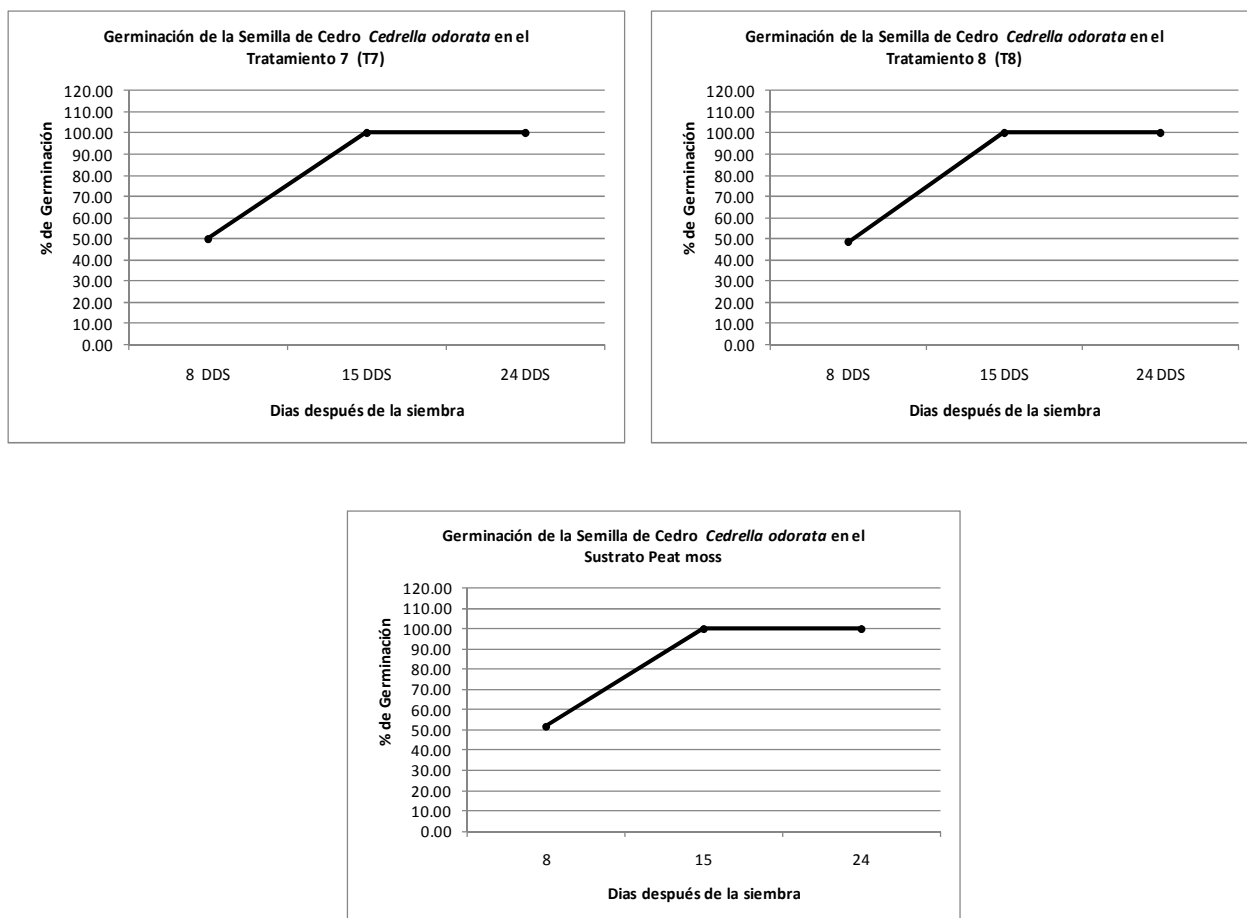
Cuadro 40. Porcentaje de germinación de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), en la evaluación de sustratos alternativos, a los 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de germinación días después e la siembra (DDS) |        |        |
|-------------|-----------------------------------------------------------|--------|--------|
|             | 8DDS                                                      | 15 DDS | 24 DDS |
| <b>T 0</b>  | 51.67                                                     | 100    | 100    |
| <b>T 1</b>  | 49.17                                                     | 100    | 100    |
| <b>T 2</b>  | 46.67                                                     | 100    | 100    |
| <b>T 3</b>  | 47.5                                                      | 100    | 100    |
| <b>T 4</b>  | 46.67                                                     | 100    | 100    |
| <b>T 5</b>  | 47.5                                                      | 100    | 100    |
| <b>T 6</b>  | 45.83                                                     | 100    | 100    |
| <b>T 7</b>  | 50                                                        | 100    | 100    |
| <b>T 8</b>  | 48.33                                                     | 100    | 100    |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el cuadro 40, a los 15 días después de la siembra se obtuvo el cien por ciento de germinación en los sustratos evaluados y el testigo; esto evidencia que los sustratos favorecen la germinación de la semilla de cedro.





Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 16. Comportamiento del porcentaje de germinación de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en los sustratos evaluados, a los 8, 15 y 24 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En el grupo de gráficas se presenta el comportamiento de la germinación en los sustratos evaluados, pues se obtuvo el 100% de germinación en los tratamientos a los 15 días después de la siembra; debido posiblemente a la aplicación de una capa de piedra pómez de 0.5 cm sobre la semilla, con el objetivo de favorecer la germinación, lo cual es una práctica utilizada y recomendada en la producción de plantas forestales en contenedor en FEDECOVERA, en el municipio de Cobán, Alta Verapaz<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Cú J. 2012. Producción forestal (Entrevista). Coban, GT, FEDECOVERA.

#### 6.4.2 Altura de las plantas de cedro (*C. odorata* L.)

Con el propósito de conocer la respuesta de cada uno de los diferentes sustratos, sobre la altura de las plantas de cedro, se realizaron mediciones de la variable a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (DDS), posteriormente se realizó análisis de varianza y prueba de medias para determinar si existen diferencias significativas.

En el cuadro 41, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta, a los 30 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que no existe diferencia significativa en los tratamientos para esta variable en un periodo de 30 días. El coeficiente de variación obtenido fue de 14.63%

Cuadro 41. Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 8.33700000        | 1.04212500     | 0.94         | 0.4938      | NS  |
| Error                    | 36                | 39.7500000        | 1.10438889     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 48.09500000       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 14.63%            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a estos resultados, la altura de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 30 días después de la siembra es estadísticamente igual y en ninguno de los tratamientos de esta etapa de desarrollo es diferente. Las mediciones de altura de planta están dentro del rango 7.07 a 7.61 cm, sin embargo no existen diferencias significativas.

En el cuadro 42, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta, a los 60 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 13.25%.

Cuadro 42. Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación       | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento               | 8                 | 126.81744444      | 15.85218056    | 3.30         | 0.0063      | **  |
| Error                     | 36                | 172.81900000      | 4.80052780     |              |             |     |
| Total                     | 44                | 299.63644444      |                |              |             |     |
| Coefficiente de Variación | 13.25%            |                   |                |              |             |     |

\*\* = Diferencias altamente significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que los tratamientos o sustratos evaluados son diferentes a los demás, por lo que fue necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos diferentes entre sí.

Cuadro 43. Prueba de medias de Tukey para la variable altura de plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media cm | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 0         | 17.950   | A              |
| T 1         | 17.850   | A              |
| T 8         | 17.750   | A              |
| T 4         | 17.720   | A              |
| T 7         | 16.470   | AB             |
| T 2         | 16.320   | AB             |
| T 3         | 16.250   | AB             |
| T 6         | 16.240   | AB             |
| T 5         | 12.230   | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 43: los tratamientos T0, T1, T8 y T4, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran una altura de planta de 17.95 cm, 17.85 cm, 17.75 cm y 17.72 cm, respectivamente. Los tratamientos T7, T2, T3, y T6, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, con una altura de planta de 16.47, 16.32, 16.25 y 16.24 cm,

respectivamente. El tratamiento o sustrato T5, es estadísticamente diferente a los demás, con altura promedio 12.23 cm, la cual corresponde a la menor altura.

En esta etapa de desarrollo las plantas de cedro inician a mostrar diferencias en altura, exponiendo una tendencia de los tratamientos T0, T1, T4 y T8, los cuales muestran mayor altura, posiblemente por las características físicas y químicas que brindan los tratamientos, debido a los materiales utilizados para su elaboración.

En el cuadro 44, se presenta el análisis de varianza donde se muestra, la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta a los 90 días después de la siembra para los nueve tratamientos T0 a T8, donde se observó que no existe diferencia entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 15.73%.

Cuadro 44. Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 90 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 364.32500000      | 45.54062500    | 2.06         | 0.0664      | NS  |
| Error                    | 36                | 795.500000        | 22.097222      |              |             |     |
| Total                    | 44                | 1159.825000       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 15.73%            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, los tratamientos son estadísticamente iguales y no existen diferencias en la altura promedio que va de 23.50 cm a 33.65 cm.

En el cuadro 45, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable altura de planta, a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos T0 a T8, donde se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 11.85%.

Cuadro 45. Análisis de varianza para la variable altura de plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación       | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Grados Medios | F. Calculado | Pr > F | SIG |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|--------|-----|
| Tratamiento               | 8                 | 303.1161511       | 37.88951889   | 2.43         | 0.0324 | *   |
| Error                     | 36                | 560.2834800       | 15.5635967    |              |        |     |
| Total                     | 44                | 863.4056311       |               |              |        |     |
| Coefficiente de Variación | 11.85%            |                   |               |              |        |     |

\* = Diferencias significativas.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, permitirán determinar los tratamientos evaluados son diferentes a los demás, por lo que fue necesario efectuar una prueba de medias para determinar que tratamientos son diferentes entre sí.

Cuadro 46. Prueba de media de Tukey para la variable altura de plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

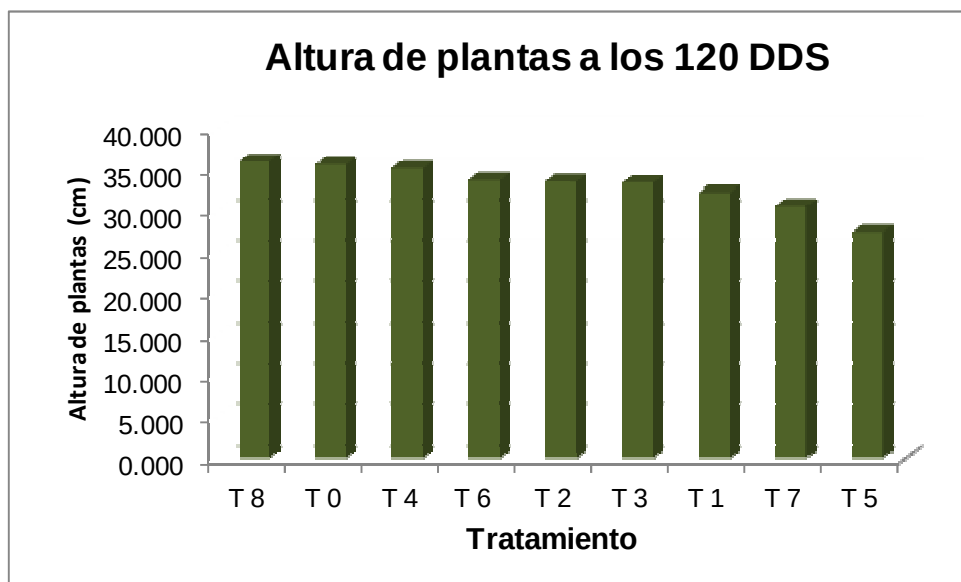
| Tratamiento | Media cm | Grupo de Tukey |
|-------------|----------|----------------|
| T 8         | 36.220   | A              |
| T 0         | 35.876   | A              |
| T 4         | 35.402   | AB             |
| T 6         | 33.938   | AB             |
| T 2         | 33.762   | AB             |
| T 3         | 33.602   | AB             |
| T 1         | 32.408   | AB             |
| T 7         | 30.728   | AB             |
| T 5         | 27.562   | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados que se muestran en el cuadro 46, los tratamientos T8 y T0, son estadísticamente iguales, pero diferentes a los demás con alturas promedio de 36.22 y 35.87 cm, respectivamente. Los tratamientos T4, T6, T2, T3, T1 y T7, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, mostrando alturas promedio de 35.40, 33.93, 33.76, 33.60, 32.40 y 30.72 cm, respectivamente.



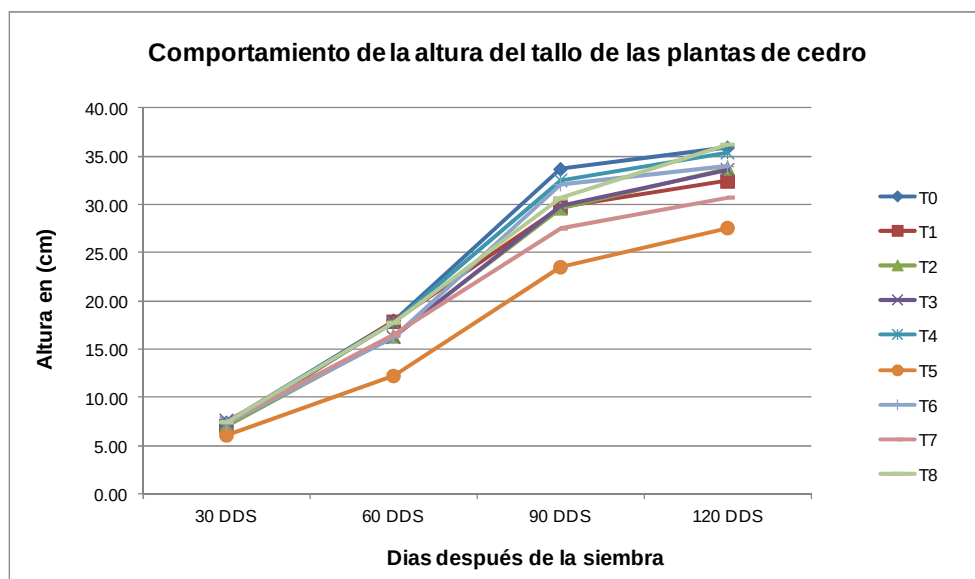
El tratamiento T5, es estadísticamente diferente a los demás mostrando una altura promedio de 27.56 cm.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 17. Comportamiento de la altura de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

Como se observa en la gráfica 17, los tratamientos T8 y T0, son los que presentan las medias más altas, debido a las características físicas y químicas de los sustratos que permiten que las plantas tengan un mejor crecimiento comparado con el resto de tratamientos evaluados.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 18. Comportamiento de la altura de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En la gráfica 18, se puede observar que los tratamientos que mostraron mejor rendimiento en la variable altura fueron el tratamiento testigo (T0), T8, T4, T6 y T3, los que mostraron menor rendimiento en esta variable fueron los tratamientos T5 y T7.

El tratamiento testigo (T0) es el conformado por 100% Peat moss, el tratamiento T8 está conformado por 20% de Peat moss, 20% cascarilla de maní, 20% cascarilla de arroz, 15% carbón vegetal, 15% Bocashi y 10% semolina, son los tratamientos que presentaron mejores resultados de esta variable a los 120 días después de la siembra. Por otra parte los tratamientos que presentaron menor altura a los 30, 60, 90 y 120 DDS fueron los tratamientos T5 conformado por 40% fibra de coco, 20% cascabello de café, 15% carbón, 15% abono orgánico, 10% semolina y el T7 conformado por 40% cascarilla de maní, 20% cascarilla de arroz, 15% carbón, 15% abono orgánico y 10% semolina.

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre la altura de las plantas producidas en los tratamientos.

### 6.4.3 Diámetro del tallo de plantas de cedro (*C. odorata* L.)

Con el propósito de conocer la respuesta del diámetro del tallo de las plantas de cedro en los diferentes sustratos, se realizaron mediciones de la variable a los 30, 60, 90 y 120, días después de la siembra (DDS), posteriormente se realizó análisis de varianza y prueba de medias para determinar las diferencias entre los tratamientos.

En el cuadro 47, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable diámetro del tallo, a los 30 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que no existe diferencia en los tratamientos para esta variable, en un periodo de 30 días. El coeficiente de variación obtenido fue de 8.95%.

Cuadro 47. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 30 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 0.12645778        | 0.01580722     | 0.7          | 0.6906      | NS  |
| Error                    | 36                | 0.81484000        | 0.02263444     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 0.94129778        |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 8.95%             |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a estos resultados, el diámetro del tallo de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 30 días después de la siembra son estadísticamente iguales y en ninguno de los tratamientos en esta etapa de desarrollo es diferente. Las medias de diámetro del tallos de las plantas están dentro del rango 1.57 a 1.75 mm, sin embargo no son significativas las diferencias. En el cuadro 48, se presenta el análisis de varianza de la variable diámetro del tallo de planta a los 60 días después de la siembra para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que no existe diferencia entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 12.39%.

Cuadro 48. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 60 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 2.13044000        | 0.26630500     | 1.45         | 0.2083      | NS  |
| Error                    | 36                | 6.59084000        | 0.18307889     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 8.72128000        |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 12.39%            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, ninguno de los tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo cual no es necesario efectuar una prueba de medias para determinar que tratamientos son diferentes entre sí. Las medias de diámetro del tallo de las plantas están dentro del rango 3.08 a 3.78 mm.

En el cuadro 49, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable diámetro del tallo de la planta, a los 90 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 11.35%.

Cuadro 49. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 90 días después de la siembra, Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 6.66876000        | 0.83359500     | 2.11         | 0.0602      | NS  |
| Error                    | 36                | 14.21116000       | 0.39475444     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 20.87992000       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 11.35%            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, ninguno de los tratamientos o sustratos evaluados es diferente a los demás, por lo cual no es necesario efectuar una prueba de medias para determinar que tratamientos son diferentes entre sí. Las medias de diámetro del tallo de las plantas si están dentro del rango 4.35 a 5.48 mm sin embargo no son significativas.

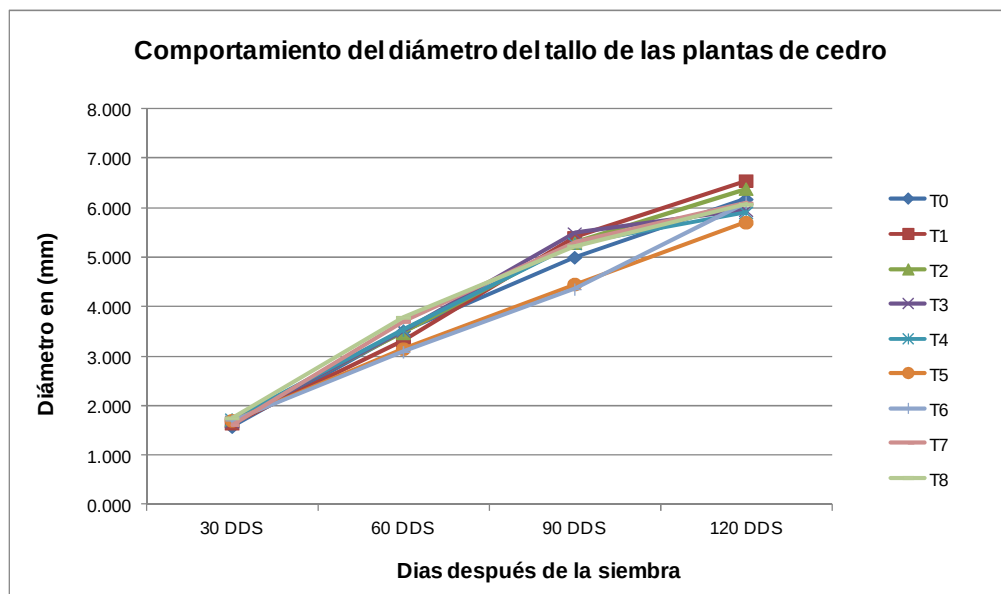
En el cuadro 50, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios de la variable diámetro del tallo de planta de cedro, a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos T0 a T8, donde se observó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 10.10%.

Cuadro 50. Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 2.37464000        | 0.29683000     | 0.78         | 0.6222      | NS  |
| Error                    | 36                | 13.68456000       | 0.38012667     |              |             |     |
| Total                    | 44                | 16.05920000       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 10.10%            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, ninguno de los tratamientos o sustratos evaluados es diferente a los demás, por lo cual no es necesario efectuar una prueba de medias para determinar que tratamientos son diferentes entre sí. Las medias de diámetro del tallos de las planta si están dentro del rango 5.74 a 6.54 mm, sin embargo no son significativas.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 19. Comportamiento del diámetro basal de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en los diferentes sustratos, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En la gráfica 19, se puede observar que no existe diferencia en la variable diámetro del tallo, sin embargo, es importante indicar que el T1 y el T2, mostraron resultados superiores al testigo, ambos sustratos contienen fibra de coco en similares proporciones 40%, la fibra le confiere propiedades físicas y químicas a los sustratos que favorecen el desarrollo y crecimiento de las plantas de cedro. El tratamiento que presenta menor rendimiento en la variable diámetro del tallo es el T5.

Con base a los resultados se rechaza la hipótesis planteada, porque no existe diferencia entre el diámetro de las plantas producidas en los tratamientos.

#### 6.4.4 Materia seca del tallo de plantas de cedro (*C. odorata* L.)

Con el propósito de evaluar la respuesta de los tratamientos, sobre el desarrollo de las plantas de cedro se realiza el análisis de la variable materia seca del tallo.

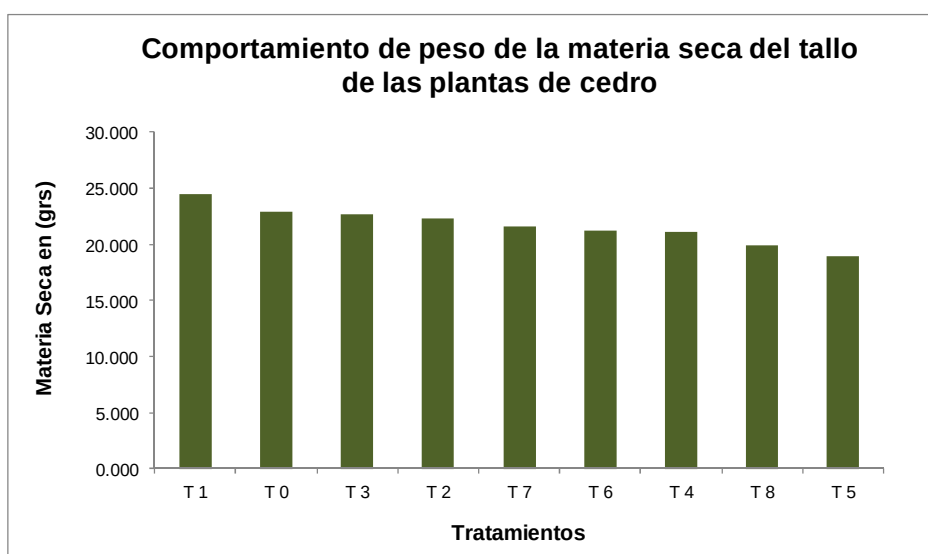
En el cuadro 51, se presenta el análisis de varianza de la variable materia seca del tallo, al final de la fase de producción a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos T0 a T8, donde se observó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 13.95%.

Cuadro 51. Análisis de varianza para la variable materia seca del tallo de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación      | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento              | 8                 | 110.4958844       | 13.8119856     | 1.51         | 0.1884      | NS  |
| Error                    | 36                | 329.4091600       | 9.1502544      |              |             |     |
| Total                    | 44                | 439.9050444       |                |              |             |     |
| Coeficiente de Variación | 13.95%            |                   |                |              |             |     |

NS = Estadísticamente no existen diferencia significativas.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, los tratamientos evaluados no son estadísticamente diferentes en entre sí, lo cual no es necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos sobre salientes



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 20. Comportamiento del rendimiento de materia seca del tallo de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013.

En la gráfica 20 y el cuadro 51, se observa que los tratamientos que sobresalen son el T1, testigo (T0) y el T3, porque son estadísticamente similares los ocho tratamientos y el testigo, aunque se pueden apreciar pequeñas diferencias en los valores medios de la materia seca del tallo de las plantas.

Con base a los resultados se rechaza la hipótesis planteada, porque no existe diferencia entre el materia se del tallo de las plantas producidas en los tratamientos.

#### 6.4.5 Materia seca de raíz de plantas de cedro (*C. odorata* L.)

Con el propósito de evaluar la respuesta de los tratamientos sobre el desarrollo de las plantas de cedro, se realizó el análisis de la variable materia seca de la raíz, lo cual permite determinar la influencia del sustrato sobre el desarrollo radicular.

En el cuadro 52, se presenta el análisis de varianza de la variable materia seca de la raíz, al final de la fase de producción a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 37.39%.



Cuadro 52. Análisis de varianza para la variable materia seca de la raíz de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación       | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento               | 8                 | 15.37484000       | 1.92185500     | 2.61         | 0.0233      | *   |
| Error                     | 36                | 26.54156000       | 0.73726556     |              |             |     |
| Total                     | 44                | 41.91640000       |                |              |             |     |
| Coefficiente de Variación | 37.39%            |                   |                |              |             |     |

\* = Diferencias significativas.  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que los tratamientos evaluados son diferentes a los demás, por lo que fue necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

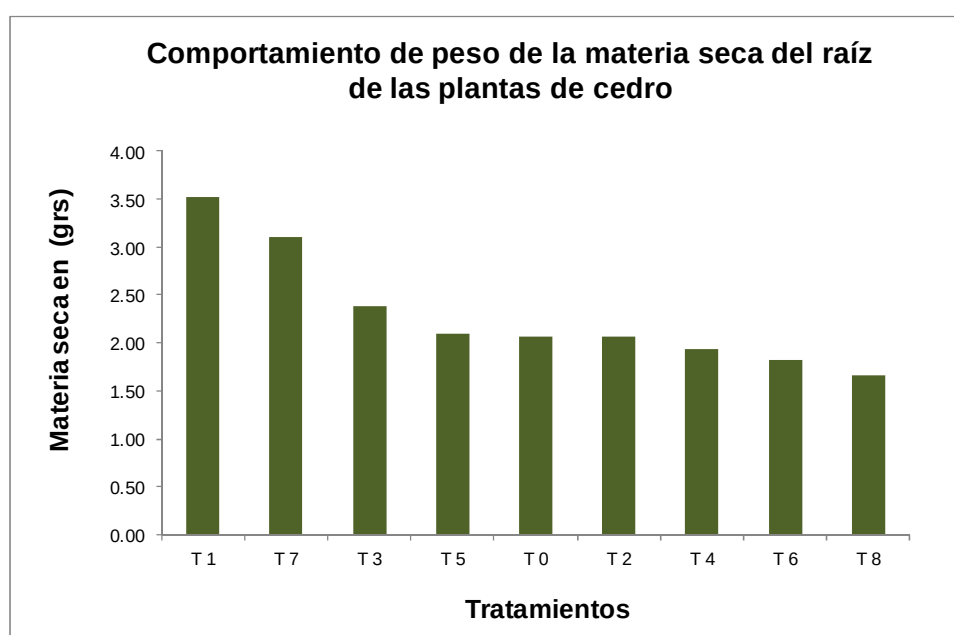
Cuadro 53. Prueba de medias de Tukey para la variable materia seca de la raíz de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media % | Grupo de Tukey |
|-------------|---------|----------------|
| T 1         | 3.5260  | A              |
| T 7         | 3.1080  | AB             |
| T 3         | 2.3780  | AB             |
| T 5         | 2.0920  | AB             |
| T 0         | 2.0740  | AB             |
| T 2         | 2.0680  | AB             |
| T 4         | 1.9360  | AB             |
| T 6         | 1.8280  | AB             |
| T 8         | 1.6600  | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 53, el tratamiento T1, es estadísticamente diferente a los demás, mostrando el valor más alto de rendimiento de materia seca de la raíz con 3.526 g. Los tratamientos o sustratos T7, T3, T5, T0, T2, T4

y T6, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás y muestran un rendimiento de materia seca en raíz de 3.108, 2.378, 2.092, 2.074, 2.068, 1.936 y 1.828 g, respectivamente. El tratamiento T8, es diferente a los demás, mostrando rendimiento de materia seca en raíz de 1.660 g, presentando un menor rendimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 21. Comportamiento del rendimiento de materia seca de la raíz de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en los diferentes sustratos. Chiquimula 2013.

En la gráfica 21 y el cuadro 53, se observa que el tratamiento con mayor rendimiento de materia seca de la raíz es el T1, es estadísticamente superior a los demás tratamientos, las características físicas y químicas de este sustrato permitió que se observara un mayor rendimiento de materia seca de la raíz, debido principalmente al alto contenido de nutrientes especialmente del fósforo que combinada a las propiedades físicas permiten un mejor desarrollo del sistema radicular.

Las plantas producidas en los tratamientos T7, T3, T5, T0, T2, T4 y T6, mostraron un rendimiento de materia seca de la raíz estadísticamente igual al tratamiento testigo (T0), lo cual nos indica que por sus características físicas y químicas permiten un desarrollo radicular de las plantas de cedro similar a la turba rubia (Peat moss).

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre la materia seca de raíz de las plantas producidas en los tratamientos.

#### **6.4.6 Calidad de adobe de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en contenedor.**

Con el fin de evaluar las plantas producidas en los diferentes sustratos o tratamientos, se estudió la variable calidad de adobe, al momento que las plantas están listas para el traslado al campo definitivo (120 DDS días después de la siembra). Esta variable se analizó con base al porcentaje de adobe que sale integro del contenedor.

En el cuadro 54, se presentan los resultados promedio obtenidos de las variables calidad de adobe para cada uno de los sustratos evaluados.

Cuadro 54. Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de adobe que sale del contenedor a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de adobe que sale del contenedor |
|-------------|---------------------------------------------|
| T 0         | 78.80                                       |
| T 1         | 87.20                                       |
| T 2         | 78.40                                       |
| T 3         | 89.00                                       |
| T 4         | 88.60                                       |
| T 5         | 71.40                                       |
| T 6         | 81.60                                       |
| T 7         | 87.60                                       |
| T 8         | 92.40                                       |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 55, se presenta el análisis de varianza para la variable calidad de adobe al final de la fase de producción, a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 11.10%.

Cuadro 55. Análisis de varianza para la variable calidad de adobe de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación       | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento               | 8                 | 1813.644444       | 226.705556     | 2.62         | 0.0227      | *   |
| Error                     | 36                | 31.16800000       | 86.577778      |              |             |     |
| Total                     | 44                | 4930.444444       |                |              |             |     |
| Coefficiente de Variación | 11.10%            |                   |                |              |             |     |

\* Diferencias significativas

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que los tratamientos evaluados son diferentes a los demás, por lo que fue necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Cuadro 56. Prueba de medias de Tukey para la variable calidad de adobe de las plantas de cedro (*C. odorata* L.). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media % | Grupo de Tukey |
|-------------|---------|----------------|
| T 8         | 92.400  | A              |
| T 3         | 89.000  | AB             |
| T 4         | 88.600  | AB             |
| T 7         | 87.600  | AB             |
| T 1         | 87.200  | AB             |
| T 6         | 81.600  | AB             |
| T 0         | 78.800  | AB             |
| T 2         | 78.400  | AB             |
| T 5         | 71.400  | B              |

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados que se muestran en el cuadro 56, el tratamiento T8, es estadísticamente diferente a los demás, con un porcentaje de adobe que sale del contenedor de 92.4 %; los tratamientos T3, T4, T7, T1, T6, T0 y T2, son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás, y muestran un 89.0, 88.6, 87.6, 87.2, 81.6, 78.8 y 78.4%, respectivamente.

El tratamiento T5, es estadísticamente diferente a todos los demás y es el que presentó un 71.40%.

En el cuadro 57, se muestra la escala para la calificación de la calidad de adobe de plantas forestales, la cual fue utilizada para la calificación de la presente variable.

Cuadro 57. Escala de calidad de adobe utilizada en la evaluación de plantas forestales de cedro en contenedor. Chiquimula 2013.

| Calidad de adobe | Porcentaje de adobe                            |
|------------------|------------------------------------------------|
| 1                | El 100% del adobe sale íntegro                 |
| 2                | Sale el 90% del adobe                          |
| 3                | Sale el 75% del adobe                          |
| 4                | Sale el 50% del adobe                          |
| 5                | Sale menos del 50% del adobe o la raíz desnuda |

Fuente: Quesada y Méndez 2005.

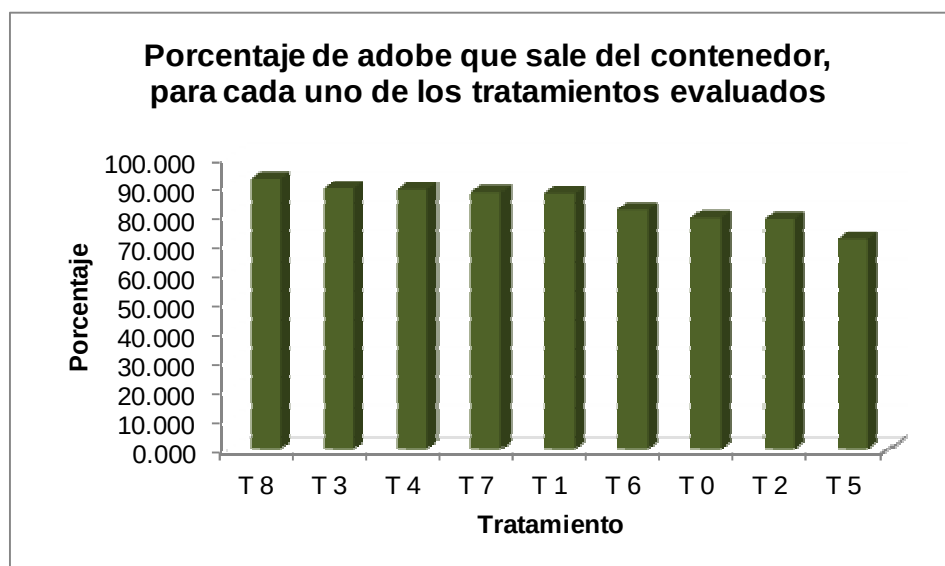
Cuadro 58. Calidad de adobe para las plantas de cedro (*C odorata* L), producidas en los diferentes tratamientos. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje del adobe que sale del contenedor | Escala de adobe |
|-------------|----------------------------------------------|-----------------|
| T 8         | 92.40                                        | 1               |
| T 3         | 89.00                                        | 3               |
| T 4         | 88.60                                        | 3               |
| T 7         | 87.60                                        | 3               |
| T 1         | 87.20                                        | 3               |
| T 6         | 81.60                                        | 3               |
| T 0         | 78.80                                        | 3               |
| T 2         | 78.40                                        | 3               |
| T 5         | 71.40                                        | 4               |

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro 58 y la gráfica 22, el tratamiento T8, presento la mejor calidad de adobe con base a la escala del cuadro 57, la calidad de adobe 1 con un 92.40%, de adobe que sale del contenedor, seguido por los tratamientos T3, T4, T7, T1, T6, T0 y T2, los que de acuerdo a la prueba de medias de Tukey, son estadísticamente iguales entre sí, con calidad de adobe 3, el tratamiento T5 presentó una calidad de adobe 4, este tratamiento contiene cascabillo de café lo cual le confiere características que no permiten tener un pilón compacto y aglomerado para obtener una calidad en el adobe. Los sustratos que en su composición tienen fibra de coco y Peat moss presentan una mejor calidad de adobe. La calidad en el adobe es importante porque permite obtener planta de calidad con excelentes características en el sistema radicular, que permite un mejor prendimiento en el campo definitivo.

Para obtener una excelente calidad de adobe además de las características físicas y químicas de los sustratos es necesario que el sistema tenga un excelente desarrollo, que permita la formación del cono radicular en el contenedor.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 22. Porcentaje de adobe que sale del contenedor de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre la calidad de adobe de las plantas producidas en los tratamientos.

#### 6.4.7 Porcentaje de plantas trasplantables de cedro (*C. odorata* L.)

Con el propósito de determinar la respuesta de los sustratos con el rendimiento (porcentaje de plantas trasplantables) al final del proceso de producción a los 120 después de la siembra, se evaluó la variable porcentaje de plantas trasplantables, el porcentaje de plantas que de acuerdo al desarrollo y crecimiento están listas para ser llevadas al campo definitivo.

En el cuadro 59, se presentan los resultados promedio obtenidos de las variables porcentaje de plantas trasplantables de cedro, para cada uno de los sustratos evaluados.

Cuadro 59. Resultados promedio para cada tratamiento del porcentaje de plantas trasplantables de cedro (*C. odorata* L.), a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de plantas trasplantables |
|-------------|--------------------------------------|
| T 0         | 86.666                               |
| T 1         | 88.332                               |
| T 2         | 79.168                               |
| T 3         | 84.168                               |
| T 4         | 77.398                               |
| T 5         | 69.168                               |
| T 6         | 85.836                               |
| T 7         | 90.000                               |
| T 8         | 81.666                               |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 60, se presenta el análisis de varianza donde se muestra la significancia de los cuadrados medios para la variable porcentaje de plantas trasplantables, al final de la fase de producción, a los 120 días después de la siembra, para los nueve tratamientos (T0 a T8), donde se observó que existe diferencias significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variación obtenido fue 12.00%.

Cuadro 60. Análisis de varianza para la variable porcentaje de plantas trasplantables de cedro (*C. odorata* L.), en los diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Fuente de Variación       | Grado de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | F. Calculado | Pr $\geq$ F | SIG |
|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|-----|
| Tratamiento               | 8                 | 1685.491204       | 210.686401     | 2.15         | 0.0555      | *   |
| Error                     | 36                | 3520.579360       | 97.793871      |              |             |     |
| Total                     | 44                | 5206.070564       |                |              |             |     |
| Coefficiente de Variación | 12.00%            |                   |                |              |             |     |

\* = Diferencia significativas

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la regla de decisión y de los resultados del ANDEVA, permitirán determinar que los tratamientos evaluados son diferente a los demás, por lo cual fue necesario efectuar una prueba de medias para determinar los tratamientos que son diferentes entre sí.

Cuadro 61. Prueba de media de Tukey para la variable porcentaje de plantas trasplantables de cedro (*C. odorata* L.), producidas en contenedor. Chiquimula 2013.

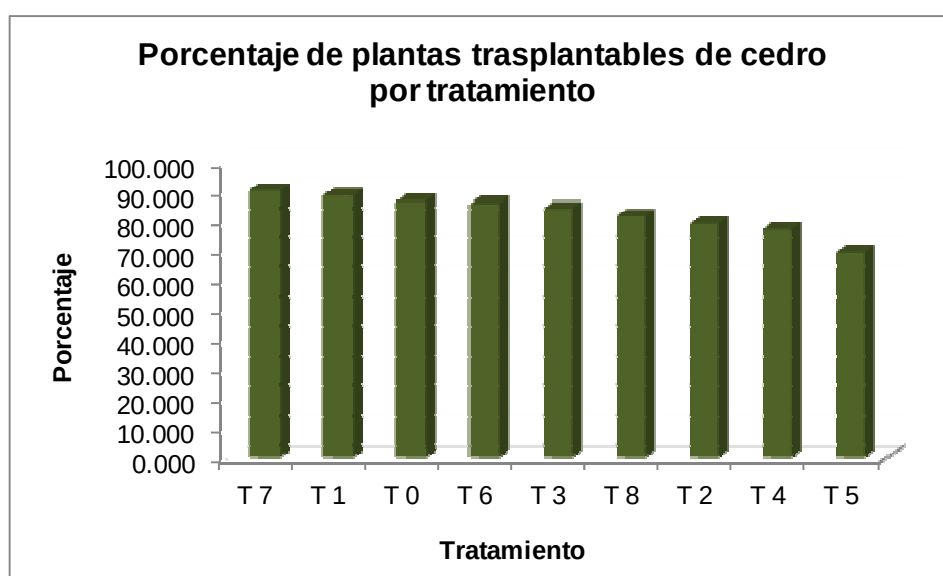
| Tratamiento | Media % | Grupo de Tukey |
|-------------|---------|----------------|
| T 7         | 90.000  | A              |
| T 1         | 88.332  | AB             |
| T 0         | 86.666  | AB             |
| T 6         | 85.836  | AB             |
| T 3         | 84.168  | AB             |
| T 8         | 81.666  | AB             |
| T 2         | 79.168  | AB             |
| T 4         | 77.398  | AB             |
| T 5         | 69.168  | B              |

Fuente: Elaboración propia.



Con base a los resultados que se muestra en el cuadro 61, el tratamiento T7, es estadísticamente diferente a los demás, con un porcentaje de plantas trasplantables de 90.00%. Los tratamientos o sustratos T1, T0, T6, T3, T8, T2 y T4, son estadísticamente entre sí, pero diferentes a los demás y muestra un porcentaje de plantas trasplantables de 88.332, 86.66, 85.836, 84.168, 81.666, 79.168 y 77.398%, respectivamente. El tratamiento T5, es el que presentó el menor porcentaje de plantas trasplantables con un 69.168%.

Con base a los resultados se acepta la hipótesis planteada, porque existe diferencia entre las plantas trasplantables producidas en los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 23. Porcentaje de plantas trasplantables de cedro (*C. odorata* L.), para cada uno de los sustratos evaluados. Chiquimula 2013.

#### 6.4.8. Indicadores para la evaluar la calidad de las plantas de cedro producidas en los diferentes sustratos

Los indicadores utilizados para evaluar la calidad de las plantas fueron el Índice de Calidad de Dickson ICD y el Índice de Esbeltez IE, como se observa en el cuadro 62.

El índice de Esbeltez, es una medida de morfología de la planta; define individuos altos y delgados o bajos y robustos y muestra el desbalance entre la parte aérea y la raíz

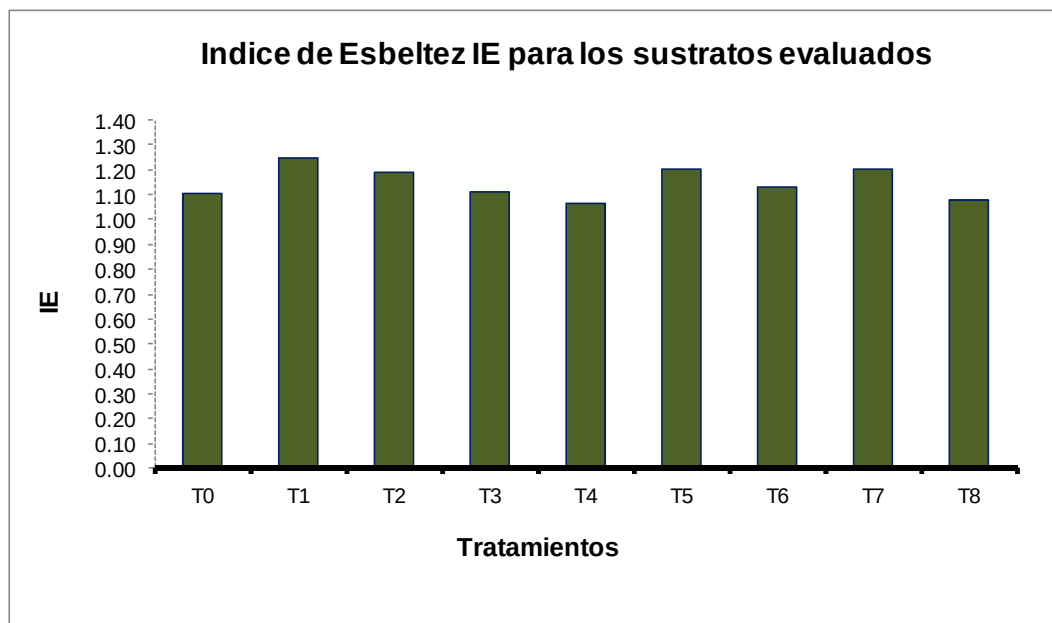
El Índice de la Calidad de Dickson ICD, representa las plantas de mejor calidad lo cual implica que por una parte el desarrollo de la planta es grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radial están equilibradas.

En la relación parte área/raíz (Tompson 1987), la mejor calidad de la planta se obtiene cuando la parte aérea relativamente grande y la raíz mediana, lo cual garantiza una mayor supervivencia ya que evita que la absorción exceda a la capacidad de transpiración.

Cuadro 62. Indicadores de calidad de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), producidas en diferentes sustratos, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Indice de Calidad de Dickson ICD (1960) | Indice de Esbeltez IE | Area/Raíz (PSPa/PSR) |
|-------------|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| T0          | 1.483                                   | 1.10                  | 11.063               |
| T1          | 2.356                                   | 1.25                  | 6.951                |
| T2          | 1.515                                   | 1.19                  | 10.763               |
| T3          | 1.650                                   | 1.11                  | 9.527                |
| T4          | 1.363                                   | 1.07                  | 10.892               |
| T5          | 1.514                                   | 1.20                  | 9.038                |
| T6          | 1.343                                   | 1.13                  | 11.626               |
| T7          | 2.060                                   | 1.20                  | 6.949                |
| T8          | 1.201                                   | 1.08                  | 12.020               |

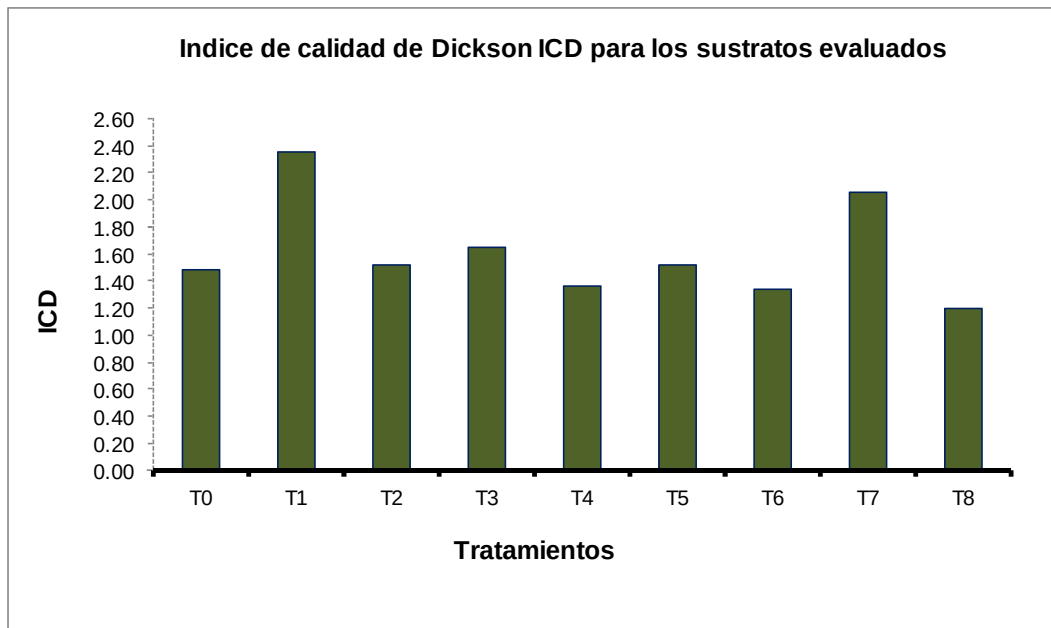
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 24. Índice de Esbeltez IE para evaluar la calidad de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra, Chiquimula 2013.

El Índice de Esbeltez relaciona la altura y el diámetro basal, por lo que se determina con la división siguiente: Índice de Esbeltez = altura total/diámetro basal. Este valor debe ser menor de 6, ya que si lo sobrepasa, la planta es susceptible a sufrir daños mecánicos causados por el viento. En el presente estudio todos los tratamientos muestran valores muy por debajo del valor 6 que es requerido por este indicador. (cuadro 62 y gráfica 24).

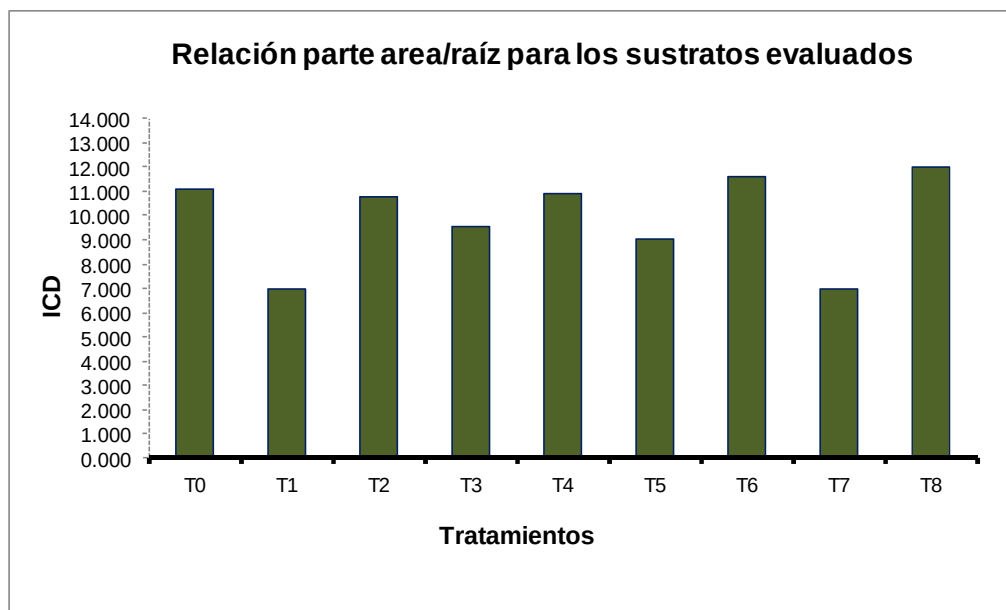


Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 25. Índice de Calidad de Dickson para evaluar la calidad de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

El Índice de Calidad de Dickson relaciona el peso seco de la planta y las variables altura y diámetro basal, cuyo producto resultante es preferible que sea mayor de 0.2.

Este indicador de calidad privilegia el crecimiento en diámetro basal de la planta, bajo el valor de esbeltez, el crecimiento del sistema radicular y alto valor de biomasa en general. En el presente estudio todos los tratamientos (T0 al T8) superan el valor de 0.2 definido como requerimiento mínimo de calidad por este indicador, como se puede apreciar en la grafica 25.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 26. Relación parte aérea/raíz para evaluar la calidad de las plantas de cedro (*C. odorata* L.), para cada uno de los sustratos evaluados, a los 120 días después de la siembra. Chiquimula 2013.

En la gráfica 26, se presenta la relación parte área/raíz para los diferentes tratamientos, donde se puede observar que el tratamientos (T1) y (T7), tiene una relación parte área/raíz de 6.951 y de 6.949 respectivamente esta relación permite comparar el desarrollo aéreo con el desarrollo del sistema radicular, un mayor peso de materia seca del tallo y de raíz permite obtener una relación parte área/raíz menor, lo cual indica que las plantas tienen buen desarrollo aéreo y radicular.

Cuadro 63. Resumen de las variables evaluadas en los sustratos alternativos, germinación (24 días después de la siembra), altura de plantas, diámetro de plantas, materia seca de tallo, materia seca de raíz, calidad de adobe y plantas trasplantables (120 días después de la siembra), de pino (*P. oocarpa* Schiede) y cedro (*C. odorata* L.). Chiquimula 2013.

| Variables para pino               | T 0     | T 1     | T 2     | T 3     | T 4     | T 5     | T 6     | T 7     | T 8     |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Germinación (%)</b>            | 94.8    | 93.8    | 93.6    | 92      | 92      | 92.4    | 92.2    | 90.6    | 90.8    |
| <b>Altura de plantas (cm)</b>     | 22.164  | 19.290  | 20.636  | 20.414  | 19.625  | 20.826  | 13.600  | 15.000  | 14.950  |
| <b>Diámetro de plantas (mm)</b>   | 1.8540  | 1.7740  | 1.7700  | 1.8380  | 1.8180  | 1.8400  | 1.3360  | 1.3160  | 1.2780  |
| <b>Materia seca de tallo (gr)</b> | 2.9674  | 2.3882  | 2.4908  | 2.4264  | 2.5804  | 2.8008  | 1.7222  | 1.9136  | 1.3984  |
| <b>Materia seca de raíz (gr)</b>  | 0.53220 | 0.62620 | 0.59000 | 0.51220 | 0.43540 | 0.66760 | 0.27460 | 0.47540 | 0.43960 |
| <b>Calidad de adobe (%)</b>       | 93.750  | 84.998  | 79.168  | 87.224  | 81.528  | 84.166  | 75.554  | 77.358  | 60.970  |
| <b>Plantas trasplantables (%)</b> | 90.000  | 88.332  | 80.832  | 84.168  | 83.332  | 89.998  | 60.000  | 66.666  | 65.000  |

| Variables para cedro              | T 0    | T 1    | T 2    | T 3    | T 4    | T 5    | T 6    | T 7    | T 8    |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Germinación (%)</b>            | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |
| <b>Altura de plantas (cm)</b>     | 35.876 | 32.408 | 33.762 | 33.602 | 35.402 | 27.562 | 33.938 | 30.728 | 36.220 |
| <b>Diámetro de plantas (mm)</b>   | 6.5460 | 6.3820 | 6.1720 | 6.1080 | 6.0900 | 6.0680 | 5.9500 | 5.9040 | 5.7400 |
| <b>Materia seca de tallo (gr)</b> | 22.944 | 24.510 | 22.258 | 22.656 | 21.086 | 18.908 | 21.252 | 21.596 | 19.954 |
| <b>Materia seca de raíz (gr)</b>  | 2.0740 | 3.5260 | 2.0680 | 2.3780 | 1.9360 | 2.0920 | 1.8280 | 3.1080 | 1.6600 |
| <b>Calidad de adobe (%)</b>       | 78.800 | 87.200 | 78.400 | 89.000 | 88.600 | 71.400 | 81.600 | 87.600 | 92.400 |
| <b>Plantas trasplantables (%)</b> | 86.666 | 88.332 | 79.168 | 84.168 | 77.398 | 69.168 | 85.836 | 90.000 | 81.666 |

Fuente: Elaboración propia.

## **6.5 Análisis financiero de los sustratos alternativos para especie de pino (*P. oocarpa* Schiede)**

Para identificar el tratamiento más viable, desde el punto de vista financiero, se utilizó la metodología de presupuestos parciales.

### **6.5.1 Presupuestos parciales**

Según Reyes (2001), se llama presupuestos parciales, porque con este enfoque se toman en consideración los costos asociados con la decisión de usar un tratamiento. Estos son los costos que permiten diferenciar a un tratamiento de otro, y se denominan “costos que varían”, y se llaman así porque, no varía un tratamiento a otro. El resto de costos no se ven afectados por la decisión de usar un tratamiento en particular y permanecen constantes, por esta razón se denominan costos fijos.

Para determinar el presupuesto parcial, se determinaron los costos variables por cada tratamiento y los ingresos producto de la venta de las plantas de pino, para luego determinar el beneficio neto. El rubro de costos de producción de cada tratamiento es en esta investigación los costos variables, dado que los tratamientos o sustratos alternativos están conformados por una mezcla de diferentes materiales. Además es importante indicar que de cada tratamiento o sustrato se elaboró con un volumen de 60 lts cantidad que permitió desarrollar la investigación. Los costos que se incurrieron en el manejo de la producción de plantas de pino en contenedor como: siembra, fertilización, riegos, plaguicidas, control de plagas y enfermedades, etc. son costos fijos.

En el cuadro 64, se presentan los costos variables, los costos asociados a la producción de los tratamientos, para lo cual se utilizaron diferentes materiales, así como la mano de obra para su elaboración. Se tomó como referencia la elaboración de 60 lt, de sustrato de cada tratamiento, este es el volumen requerido para evaluar los tratamientos en la fase de campo de la investigación.

Cuadro 64. Costos variables para cada uno de los tratamientos evaluados en la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Materiales          | Porcentaje | Unidad de Medida | Cantidad Utilizada | Precio Materiales en Q. | Costo por Material en Q. | Costo Total en Q. | Costo por Kgs en Q. |
|-------------|---------------------|------------|------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|
| T0          | Peat moss           | 100%       | Kgs.             | 8                  | 11.50                   | 92.04                    | 92.04             | 11.50               |
| T1          | Fibra de coco       | 40%        | Kgs.             | 4.5                | 12.00                   | 54.00                    | 119.05            | 6.38                |
|             | Cascarilla de arroz | 20%        | Kgs.             | 1.59               | 1.44                    | 2.28                     |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
|             | Mano de Obra        |            | Hora             | 0.5                | 6.26                    | 3.13                     |                   |                     |
| T2          | Fibra de coco       | 40%        | Kgs.             | 4.5                | 12.00                   | 54.00                    | 118.45            | 3.93                |
|             | Piedra volcánica    | 20%        | Kgs.             | 13.07              | 0.13                    | 1.68                     |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
|             | Mano de Obra        |            | Hora             | 0.5                | 6.26                    | 3.13                     |                   |                     |
| T3          | Peat moss           | 20%        | Kgs.             | 3.51               | 11.50                   | 40.38                    | 132.43            | 6.65                |
|             | Cascarilla de arroz | 20%        | Kgs.             | 1.59               | 1.44                    | 2.28                     |                   |                     |
|             | Fibra de coco       | 20%        | Kgs.             | 2.25               | 12.00                   | 27.00                    |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
| T4          | Fibra de coco       | 30%        | Kgs.             | 3.37               | 12.00                   | 40.44                    | 121.33            | 6.23                |
|             | Cascarilla de maní  | 30%        | Kgs.             | 3.55               | 5.11                    | 18.13                    |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
|             | Mano de Obra        |            | Hora             | 0.5                | 6.26                    | 3.13                     |                   |                     |
| T5          | Fibra de coco       | 40%        | Kgs.             | 4.5                | 12.00                   | 54.00                    | 123.19            | 6.40                |
|             | Cascabillo de café  | 20%        | Kgs.             | 2.19               | 2.93                    | 6.42                     |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
|             | Mano de Obra        |            | Hora             | 0.5                | 6.26                    | 3.13                     |                   |                     |
| T6          | Fibra de coco       | 40%        | Kgs.             | 4.5                | 12.00                   | 54.00                    | 128.87            | 6.63                |
|             | Cascarilla de maní  | 20%        | Kgs.             | 2.37               | 5.11                    | 12.10                    |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
|             | Mano de Obra        |            | Hora             | 0.5                | 6.26                    | 3.13                     |                   |                     |
| T7          | Cascarilla de maní  | 40%        | Kgs.             | 4.74               | 5.11                    | 24.20                    | 89.25             | 4.72                |
|             | Cascarilla de arroz | 20%        | Kgs.             | 1.59               | 1.44                    | 2.28                     |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
|             | Mano de Obra        |            | Hora             | 0.5                | 6.26                    | 3.13                     |                   |                     |
| T8          | Peat moss           | 20%        | Kgs.             | 3.51               | 11.50                   | 40.38                    | 117.53            | 5.87                |
|             | Cascarilla de arroz | 20%        | Kgs.             | 1.59               | 1.44                    | 2.28                     |                   |                     |
|             | Cascarilla de maní  | 20%        | Kgs.             | 2.37               | 5.11                    | 12.10                    |                   |                     |
|             | Carbón              | 15%        | Kgs.             | 3.08               | 10.21                   | 31.46                    |                   |                     |
|             | Bocashi             | 15%        | Kgs.             | 6.98               | 0.99                    | 6.90                     |                   |                     |
|             | Semolina            | 10%        | Kgs.             | 2.5                | 2.86                    | 7.16                     |                   |                     |
|             | Melaza              |            | Litro            | 2                  | 3.06                    | 6.11                     |                   |                     |
|             | MMA                 |            | Litro            | 4                  | 2.00                    | 8.00                     |                   |                     |
|             | Mano de Obra        |            | Hora             | 0.5                | 6.26                    | 3.13                     |                   |                     |

Fuente: Elaboración propia.



Como se muestra en el cuadro 64, el costo más elevado por kilogramo lo tiene el tratamiento T0 con Q.11.50 y el costo más bajo el tratamiento T2 con Q.3.93.

Con base a esto se procedió a determinar del costo del sustrato para la producción de plantas de pino, en contenedor de 24 celdas de 178cc de volumen por celda, la elaboración de estos costos variables se realizó en relación a la producción de 5 contenedores de 24 celdas, en total 120 plantas que constituyen cada tratamiento.

Cuadro 65. Peso por contenedor, costo por kilogramo de sustrato, costo de sustrato por contenedor, costo de sustrato para 5 contenedores y costo de sustrato por planta de pino (*P. oocarpa* Schiede). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Peso/Contenedor<br>kgs | Costo por Kgs<br>en Q. | Costo<br>Sustrato/Contenedor | Costo Sustratos 5<br>Contenedor en Q. | Costo Sustrato/ Planta<br>Producida |
|-------------|------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| T0          | 0.565                  | 11.50                  | 6.50                         | 32.50                                 | 0.27                                |
| T1          | 0.95                   | 6.38                   | 6.06                         | 30.32                                 | 0.25                                |
| T2          | 1.615                  | 3.93                   | 6.35                         | 31.74                                 | 0.26                                |
| T3          | 1.264                  | 6.65                   | 8.41                         | 42.04                                 | 0.35                                |
| T4          | 1.337                  | 6.23                   | 8.33                         | 41.64                                 | 0.35                                |
| T5          | 1.159                  | 6.40                   | 7.42                         | 37.08                                 | 0.31                                |
| T6          | 1.209                  | 6.63                   | 8.02                         | 40.09                                 | 0.33                                |
| T7          | 1.616                  | 4.72                   | 7.64                         | 38.18                                 | 0.32                                |
| T8          | 1.653                  | 5.87                   | 9.70                         | 48.50                                 | 0.40                                |

Fuente: Elaboración propia.

Como el observa en el cuadro 65, el tratamiento que presenta el menor costo por planta producida es el tratamiento T1 y el que presentó el mayor costo por planta producida es el tratamiento T8, considerando únicamente el costo variable para la producción del sustrato.

Cuadro 66. Rendimiento corregido con base al porcentaje de plantas trasplantables y la prueba de medias de Tukey para las plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Media | Grupo de Tukey | Rendimiento Corregido |
|-------------|-------|----------------|-----------------------|
| T 0         | 90.00 | A              | 86.11                 |
| T 5         | 90.00 | A              | 86.11                 |
| T 1         | 88.33 | A              | 86.11                 |
| T 3         | 84.17 | A              | 86.11                 |
| T 4         | 83.33 | A              | 86.11                 |
| T 2         | 80.83 | A              | 86.11                 |
| T 7         | 66.67 | B              | 63.89                 |
| T 8         | 65.00 | B              | 63.89                 |
| T 6         | 60.00 | B              | 63.89                 |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 66, se presenta los rendimientos experimentales corregidos, los cuales resultan de promediar los porcentajes de plantas trasplantables de los grupos de medias terminados con la prueba de medias de Tukey. De acuerdo a la prueba de medias efectuada existen dos grupos de medias, el grupo A que está compuesto por los tratamientos T0, T5, T1, T3, T4 y T2, con una media corregida de 86.11% de plantas/contenedor de 24 celdas y el grupo B que está compuesto por los tratamientos T7, T8 y T6, con una media de 63.89% de plantas/contenedor.

Con base a los resultados de los cuadros 65 y 66, se obtuvieron el rendimiento en número de plantas producidas, el beneficio bruto, los costos variables y el beneficio neto para cada uno de los tratamientos.

Cuadro 67. Beneficio bruto, costos variables y beneficio neto de los tratamientos utilizados para la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Porcentaje de Plantas Trasplantables | Planta Producidas (Rendimiento) | Beneficio Bruto en Q. | Costos Variables en Q. | Beneficio Neto en Q. |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| T0          | 86.11                                | 103                             | 129.17                | 32.50                  | 96.66                |
| T1          | 86.11                                | 103                             | 129.17                | 30.32                  | 98.84                |
| T2          | 86.11                                | 103                             | 129.17                | 31.74                  | 97.42                |
| T3          | 86.11                                | 103                             | 129.17                | 42.04                  | 87.13                |
| T4          | 86.11                                | 103                             | 129.17                | 41.64                  | 87.53                |
| T5          | 86.11                                | 103                             | 129.17                | 37.08                  | 92.08                |
| T6          | 63.89                                | 77                              | 95.84                 | 40.09                  | 55.74                |
| T7          | 63.89                                | 77                              | 95.84                 | 38.18                  | 57.66                |
| T8          | 63.89                                | 77                              | 95.84                 | 48.50                  | 47.34                |

Fuente: Elaboración propia.

Multiplicando el rendimiento corregido (plantas trasplantables) por el precio de venta de Q.1.25 por planta se obtuvo el beneficio neto y luego al beneficio neto se le resto el costo variable para obtener el beneficio neto.

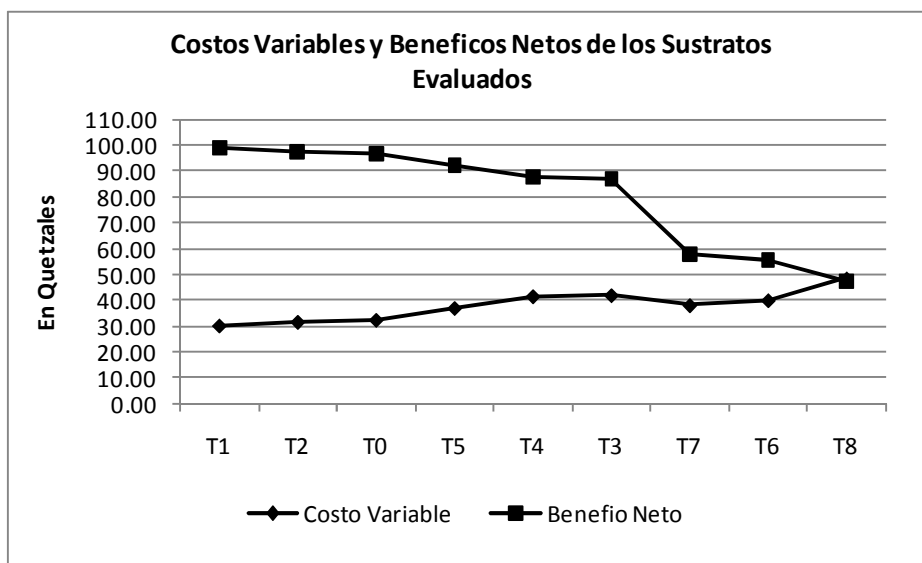
Como se observa en el cuadro 67, el menor costo lo mostró el tratamiento T1 con Q.30.32 de costo variable para la producción en 5 contenedores (120 plantas) y el mayor costo lo presentó el tratamiento T8, con un costo variable de Q.48.50. Así mismo se puede observar que el mayor beneficio neto lo presenta el tratamiento T1 y el menor beneficio neto lo obtuvo el tratamiento T8. Con base a esta información se realizó el análisis de dominancia como se muestra en el cuadro 67.

Cuadro 68. Análisis de dominancia de los diferentes tratamientos evaluados en la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Costo Variable en Q | Beneficio Neto en Q. | Observación del Cambio de Tratamiento | Dominancia  |
|-------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------|-------------|
| T1          | 30.32               | 98.84                |                                       | NO DOMINADO |
| T2          | 31.74               | 97.42                | De T1 a T2                            | DOMINADO    |
| T0          | 32.50               | 96.66                | De T2 a T0                            | DOMINADO    |
| T5          | 37.08               | 92.08                | De T0 a T5                            | DOMINADO    |
| T7          | 38.18               | 57.66                | De T5 a T7                            | DOMINADO    |
| T6          | 40.09               | 55.74                | De T7 a T6                            | DOMINADO    |
| T4          | 41.64               | 87.53                | De T6 a T4                            | DOMINADO    |
| T3          | 42.04               | 87.13                | De T4 a T3                            | DOMINADO    |
| T8          | 48.50               | 47.34                | De T3 a T8                            | DOMINADO    |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 68, se puede observar que el único tratamiento NO DOMINADO es el tratamiento T1, por lo tanto no fue necesario calcular la tasa de retorno marginal (TRM), porque el único tratamiento dominado es el que presenta el mayor beneficio neto y el menor costo variable. Además se observa en la gráfica 27, que el tratamiento que a menor costo se obtienen los mayores beneficios es el tratamiento T1, luego el tratamiento que presenta mejores beneficios netos es el T2, seguido del T0 (testigo), y tratamiento que presentó el menor margen de beneficio fue el tratamiento T8.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 27. Comparación de los costos variables y beneficio neto de los sustratos evaluados en la producción de planta de pino en contenedor. Chiquimula 2013.

Cuadro 69. Análisis de residuo de los diferentes tratamientos evaluados en la producción de plantas de pino (*P. oocarpa* Schiede). Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Costo variable en Q. | Beneficio neto en Q. | Costo de oportunidad x costo variable (COCV) | Residuo |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------|---------|
| T0          | 32.5                 | 96.66                | 32.5                                         | 64.16   |
| T1          | 30.32                | 98.84                | 30.32                                        | 68.52   |
| T2          | 31.74                | 97.42                | 31.74                                        | 65.68   |
| T3          | 42.05                | 87.13                | 42.04                                        | 45.09   |
| T4          | 41.64                | 87.53                | 41.64                                        | 45.89   |
| T5          | 37.08                | 92.02                | 37.08                                        | 55      |
| T6          | 40.09                | 55.74                | 40.09                                        | 15.65   |
| T7          | 38.18                | 57.66                | 38.18                                        | 19.48   |
| T8          | 48.5                 | 47.34                | 48.5                                         | -1.16   |

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 69, se presenta el residuo para cada uno de los tratamientos evaluados, con lo cual se confirma que el tratamiento T1, es el más rentable. Esto indica que al utilizar el tratamiento T1, para la producción de planta de pino en contenedor, se obtiene un mayor beneficio en comparación con la utilización del resto de los tratamientos evaluado.

## 7. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a la caracterización química de los sustratos evaluados el pH es una de las características de mayor importancia, porque los tratamientos o sustratos alternativos presentan pH superiores a 7, considerados ligeramente alcalinos, el pH alto puede afectar la disponibilidad de nutrientes en los mismos especialmente los metales.
2. La conductividad eléctrica de los tratamientos evaluados es elevada de 2120 uS/cm a 3530 uS/cm, comparada con el tratamiento testigo (peat moss), con una conductividad de 483 uS/cm, la alta conductividad de los sustratos puede afectar el desarrollo del sistema radicular en las plantas de pino en las primeras etapas de crecimiento de las plantas.
3. Los tratamientos evaluados presentan una alta relación carbono/nitrógeno de 47 a 69.9, que indica una alta estabilidad de los sustratos, sin embargo la elevada relación carbono/nitrógeno puede implicar un alto consumo de nutriente en el medio, afectando del desarrollo general de la plantas forestales.
4. La porosidad es otra de las características físicas que definen la calidad de un sustratos para la producción de plantas en contenedor, los tratamientos evaluados presentan valores de 52.8 % de porosidad para el tratamiento testigo (T0) y 68.37% para el tratamiento T3, y todos los tratamientos presentan una porosidad superior al 50% pero inferior al 85%.
5. Los tratamientos evaluados presentan altas concentraciones de fósforo (P), de 192.50 ppm a 284.80 ppm; y altos concentraciones de potasio de 9250 a 11,000 ppm, esta concentración elevada de nutriente favorece el desarrollo de las planta de pino y cedro reduciendo la aplicación de fertilizantes.

6. En los diferentes sustratos alternativos donde se evaluó en crecimiento de las plantas de pino y cedro a través de las variables altura de planta, diámetro del tallo, materia seca de tallo y raíz; donde los resultados mostraron para el pino (*P. oocarpa* Schiede), el tratamiento testigo y el tratamiento T5, presentaron valores más altos en la variable altura de planta, diámetro de raíz y materia seca del tallo. Para la variable materia seca de raíz el tratamiento que presente el valor más alto es el T5, para el cedro (*C. odorata* L.), el tratamiento testigo y T8, presentaron valores más altos en la variable altura de planta, y el tratamiento T1, presentó los valores más altos en las variables diámetro del tallo y materia seca de raíz y tallo
7. El porcentaje de germinación para el pino, el tratamientos T0, es el que mayor porcentaje de germinación presento con valor de 94.80%, seguido del tratamientos T1, con valor de 93.80 y el tratamiento T2, con un porcentaje de germinación del 93.60 %; y para el cedro todos los tratamiento presentaron un 100% de germinación, se vio favorecido por la aplicación de una capa de piedra poma de 0.4 cms sobre la semilla.
8. Para la variable calidad de adobe el que presentó el mejor porcentaje es el testigo seguido del tratamiento T1, para pino. Para el cedro el tratamiento que presento mejor calidad de adobe fue el T8, seguido del tratamiento T3, su composición permitió que el pilón saliera de la celdas.
9. Los sustratos evaluados presentaron altos niveles de macronutrientes especialmente el fósforo y potasio, con una saturación de bases superior al 100% y con una adecuada capacidad de intercambio catiónico (26.66 a 36.56 meq/100gramos de suelo).
10. Los tratamientos que obtuvieron un alto porcentaje de plantas trasplantable para el pino son el tratamiento T0 (90%), T1 (90.00%) y el T2 (88.33), para cedro el tratamiento T7, presentó un mayor porcentaje de plantas trasplantables seguido del T1 y el T0.

11. Al evaluar la calidad de las plantas a través del Índice de Calidad de Dickson ICD, para el pino los tratamientos T5, T1 y T0 (testigo), superan el valor de 0.2 definido como requerimiento mínimo de calidad, con valores de 0.224, 0.205 y 0.200 respectivamente. Para el cedro todos los tratamientos superan el valor definido, siendo el tratamiento T1 el que presente el mayor Índice de Calidad de Dickson
12. Para las plantas de pino utilizando la metodología de presupuestos parciales, donde de acuerdo al mismo el beneficio neto oscila de Q. 47.34 para el tratamiento con menor beneficio y Q. 98.84 para el tratamiento de mayor beneficio, y el tratamiento T1 es que presenta un menor costo variable de Q. 30.32, un mayor beneficio neto de Q. 98.84 y mayor residuo de Q. 68.52.



## **8. RECOMENDACIONES**

1. De acuerdo a la caracterización y evaluación química y física de los sustratos, las características de mayor importancia a considerar en un sustrato son el pH, conductividad eléctrica, relación carbono/nitrógeno, porosidad, humedad aprovechable, contenido de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico.
2. Con base a la evaluación agronómica y financiera de las variables evaluadas altura de planta, diámetro del tallo, materia seca de tallo y raíz, porcentaje de germinación y calidad de adobe en la presente investigación para la producción de plantas de pino en contenedor se puede utilizar el tratamiento T5 y el tratamiento T1 y para el cedro el tratamiento T1 y tratamiento T8, Se puede recomendar la utilización del tratamiento T1 porque ofrece un menor costo variable, un mayor beneficio neto y por lo tanto un valor de residuo más alto que al resto de los tratamientos incluyendo al testigo.
3. Para reducir la conductividad eléctrica en los sustratos alternativos se debe efectuar un lavado de sales mediante riegos controlados, si el análisis de laboratorio muestra valores altos antes de producir plantas de pino en contenedor.
4. Para favorecer de forma significativa la germinación de las plantas de pino y cedro en los sustratos evaluados se recomienda cubrir la semilla con piedra pómez utilizando una capa de 0.4 cm tamizada con un tamiz No. 10.
5. Evaluar el comportamiento de las plantas de pino y cedro producidas en los mejores sustratos a nivel campo definitivo, para determinar la influencia de estos sobre prendimiento, crecimiento y desarrollo.
6. De acuerdo a los análisis de laboratorio los sustratos presentan pH ligeramente alcalinos (7.11 a 8.63) que limitan la disponibilidad de metales en solución, por lo tanto se recomienda aplicar microelementos como metales (hierro, cobre, zinc, manganeso,) para la producción de plantas de pino.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aldana Barajas, R; Aguilera Rodríguez, M. 2003. Procedimientos y cálculos básicos, útiles en la operación de viveros que producen en contenedor (en línea). Guadalajara, MX, CONAFOR, PNR. p. 46. Consultado 20 jun. 2010. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/reforestacion/ManualViveros.pdf>
2. Ambientum. 2006. Enciclopedia virtual (en línea). Consultado 16 ago. 2012. Disponible en [www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.66.26.21r.html](http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.66.26.21r.html)
3. Ansorena, J. 1994. Sustratos: propiedades y caracterización. Madrid, ES, Editorial Mundi Prensa. p. 172.
4. Baobab Sustratos, AR. s.f. Carbón vegetal molido y cenizas (en línea). Argentina. Consultado 30 ago. 2012. Disponible en <http://sustratosbaobab.blogspot.com/2008/01/carbon-vegetalcenizasolidos.html>
5. Burés, S. 1999. Introducción a los sustratos: aspectos generales (en línea). *In* Tecnología de sustratos; aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Ed JN Pastor S. España, Universidad de Lleida. p. 20 Consultado 28 abr. 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/573/57317307.pdf>
6. Calderón, A. 2006. Sustratos agrícolas (en línea). Chile, Proyecto Fondef D011063. 10 p. Consultado 15 ene. 2010. Disponible en <http://www.biosustratos.cl/pdf/Sustratos%20agricolas1.pdf>

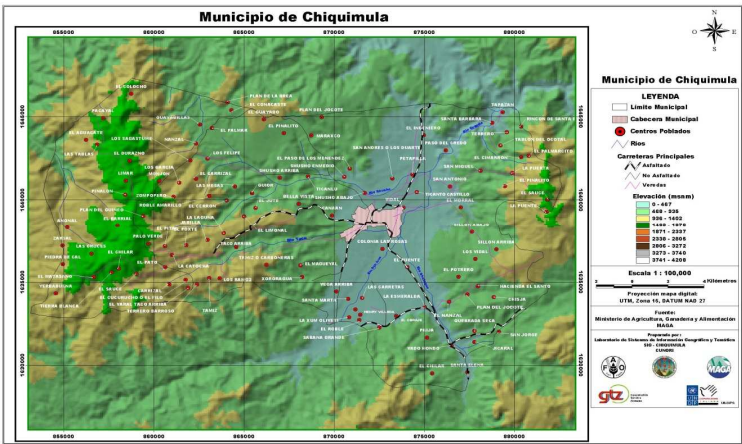
7. Cruz S, JR De La. 1976. Clasificación de zonas de vida de Guatemala, basado en el sistema Holdridge. Guatemala, INAFOR. p. 35.
8. Gallo, R; Viana, O. 2005. Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantines de tomate *Lycopersicum esculentum* Mill (en línea). Tesis Ing. Agr. Montevideo, UY, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. p. 195. Consultado 28 jun. 2010. Disponible en <http://164.73.52.13/iah/textostesis/2005/3363gal1.pdf>
9. García, M. 2006. Sustratos para la producción de plantines hortícolas (en línea). Uruguay, Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento Producción Vegetal Centro Regional Sur. 6 p. Consultado 14 ene. 2011. Disponible en <http://tesis.deSustratos%20organicos%20horticultura.pdf>
10. Hartmann, H; Kester, D; Davdes, F. 1990. Plant propagation, principles and practices. New Jersey, US, Prentice-Hall. p. 647.
11. Hydro Euroment, MX. s.f. Tipos de sustratos para hidroponía (en línea). México. Consultado 30 ago. Disponible en [http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=32&chapter=1](http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=32&chapter=1)
12. INFOAGRO (Información Agrícola, ES). 2010. Sustratos (en línea). España, Editorial Agrícola Española, S.A. Consultado 14 ene. 2010. Disponible en [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_sustratos.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.htm)
13. Maldonado Benítez, KR. 2010. Sustratos alternativos para la producción de (*Pinus Greguui Englem*) en vivero México (en línea). Tesis M.Sc. Montecillo Texcoco, MX, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. p. 114. Consultado 30 ago. 2010. Disponible en [http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/79/1/Maldonado\\_Benitez\\_KR\\_MC\\_Forestal\\_2010.pdf](http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/79/1/Maldonado_Benitez_KR_MC_Forestal_2010.pdf)

14. Mateo Sanchez, JJ *et al.* 2011 Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustratos a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México (en línea). Revista Ra Ximbaí 7 (1): 123- 132. Consultado 10 jun. 2012. Disponible en <http://www.youscribe.com/catalogue/tous/autres/production-de-cedrela-odorata-l-en-sustrato-a-base-de-aserrin-2014298>
15. Messerer Messerer, DA. 1998. Sustratos alternativos en la propagación de palto (*Persea americana*) (en línea). Quillota, CL, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. p. 65. Consultado 13 ago. 2010. Disponible en <http://www.pdfgratis.org/viewpdf.php>
16. Nuez V, F. 2001. El cultivo de tomate. México, Ediciones Mundi-Prensa. p. 793.
17. Olivo, VB; Buduba, CG. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de (*Pinus Ponderosa*) producido en contenedor bajo condiciones de invernadero (en línea). Bosque 27 (3): 267-271. Consultado 30 ago. 2012. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=173113289007>
18. Pastor N, S. 2000. Utilización de sustratos en vivero. Terra 17(3): 231-235.
19. Quesada Roldán, G; Méndez Soto, C. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas (en línea). Agronomía Mesoamericana 16 (2): 171-183. Consultado 30 ago. 2012. Disponible en [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v16n02\\_171.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v16n02_171.pdf)
20. Reyes, H. 2001. Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuesto parcial: re-enseñado el uso de enfoque. Guatemala, FAUSAC. p. 32. (Boletín informativo 1-2001).

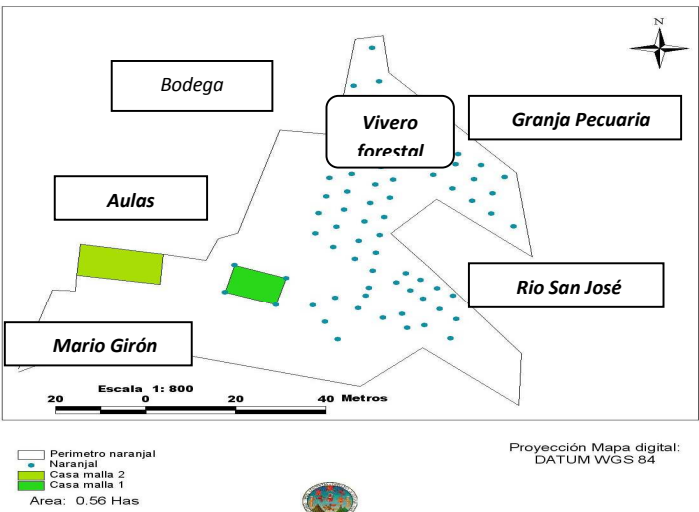
21. SIAM (Sistema de Información Ambiental, GT). 2012. Perspectiva del medio ambiente de Chiquimula (en línea). *In* Bosque Chiquimula. Guatemala, Infoambiental.org. Consultado 30 ago. 2012. Disponible en <http://www.infoambiental.org/biblioteca/Bosque%20chiquimula.doc>
22. Simmons, CS; Tarano T, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. P Tirado-Sulsona. Guatemala, Editorial José de Pineda Ibarra. p. 445-470.
23. Toral, IM; Campos, RD; Fratti BA; Valera, OR. 2000. Manual de producción de plantas forestales en contenedores. Guadalajara, Jal, MX, PRODEFO-JALISCO. p. 25. (Documento Técnico no. 25).

## **10. ANEXOS**

Anexo 1.      Ubicación Geográfica del Centro Universitario de Oriente



Croquis del Vivero de la Carrera de Agronomía



Preparado por:  
Centro Universitario de Oriente  
Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Temática  
SIG - CHIKUIMULA

## Anexo 2. Preparación de los Microorganismos de Montaña Activados (MMA) CUNORI

### **Materiales:**

- 3 Kilos de Microorganismos de montaña.
- 120 litros de agua.
- 0.5 galón de melaza.
- Bolsa de malla (malla antiáfidos).
- Tonel de 120 litros con tapadera.

### **Procedimiento:**

1. Fueron pesados 3 kilos de MM y colocarlos en la malla.
2. Colocándose una piedra entro de la bolsa de malla y luego amararla, (la piedra es para que no flote por los materiales en su interior).
3. Diluyendo 0.5 galón de melaza en 5 galones de agua.
4. Colocando la bolsa de malla con microorganismos en el tonel.
5. Se agrego la melaza disuelta.
6. Fue llenado con agua el tonel hasta los 120 litros.
7. Fue tapado el tonel herméticamente.
8. Se coloco en un lugar con sombra.

Para activarse Los microorganismos trascurrieron un mínimo de 4 días dentro del tonel pudiéndose utilizar hasta los 20 días, después de ese tiempo (sobre) prevalecen las levaduras en este compuesto solo se puede utilizar para la preparación de abono fermentado pero ya no cuenta con la riqueza de microorganismos necesarios para el desarrollo de una agricultura orgánica eficiente.



Anexo 3. Distribución de los tratamientos de la unidad experimental para pino (*P. oocarpa* Shiede)

|   |       |            |       |            |       |
|---|-------|------------|-------|------------|-------|
| 9 |       | T2-R2      |       | T7-R2      |       |
| 8 | T7-R6 |            | T5-R2 |            | T1-R3 |
| 7 |       | T2-R5      |       | T4-R2      |       |
| 6 | T1-R1 |            | T4-R4 |            | T6-R3 |
| 5 |       | Testigo R2 |       | Testigo R5 |       |
| 4 | T6-R1 |            | T4-R3 |            | T3-R2 |
| 3 |       | T2-R3      |       | T8-R5      |       |
| 2 | T1-R5 |            | T3-R3 |            | T5-R5 |
| 1 |       | T8-R3      |       | T5-R4      |       |

|    |            |       |            |       |       |
|----|------------|-------|------------|-------|-------|
| 18 | T8-R2      |       | T6-R5      |       | T1-R4 |
| 17 |            | T3-R4 |            | T5-R3 |       |
| 16 | T5-R1      |       | T3-R1      |       | T1-R2 |
| 15 |            | T8-R4 |            | T8-R1 |       |
| 14 | Testigo R1 |       | T7-R4      |       | T7-R1 |
| 13 |            | T4-R1 |            | T6-R4 |       |
| 12 | T7-R3      |       | T6-R2      |       | T3-R5 |
| 11 |            | T4-R5 |            | T2-R4 |       |
| 10 | Testigo R4 |       | Testigo R3 |       | T2-R1 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Distribución de los tratamientos de la unidad experimental para cedro (*C. odorata* L.)

|   |       |            |       |            |       |
|---|-------|------------|-------|------------|-------|
| 9 |       | C2-R2      |       | C7-R2      |       |
| 8 | C7-R5 |            | C8-R2 |            | C1-R3 |
| 7 |       | C2-R5      |       | C4-R2      |       |
| 6 | C1-R1 |            | C4-R4 |            | C6-R3 |
| 5 |       | Testigo R2 |       | Testigo R5 |       |
| 4 | C6-R1 |            | C4-R3 |            | C3-R2 |
| 3 |       | C2-R3      |       | C8-R5      |       |
| 2 | C1-R5 |            | C3-R3 |            | C8-R5 |
| 1 |       | C8-R3      |       | C5-R4      |       |

|    |            |       |            |       |       |
|----|------------|-------|------------|-------|-------|
| 18 | C8-R2      |       | C6-R5      |       | C1-R4 |
| 17 |            | C3-R4 |            | C5-R3 |       |
| 16 | C5-R1      |       | C3-R1      |       | C1-R2 |
| 15 |            | C8-R4 |            | C8-R4 |       |
| 14 | Testigo R1 |       | C7-R4      |       | C7-R1 |
| 13 |            | C4-R1 |            | C6-R4 |       |
| 12 | C7-R3      |       | C6-R2      |       | C3-R5 |
| 11 |            | C4-R1 |            | C2-R4 |       |
| 10 | Testigo R4 |       | Testigo R3 |       | C2-R1 |

Fuente: Elaboración propia.

- Anexo 5. Análisis físico químico del agua utilizada para riego de plantas de pino (*P. oocarpa* Shiede) y (*C. odorata* L.), en la localidad del vivero de la carrera de Agronomía, CUNORI, Chiquimula 2013.



**LABORATORIO AMBIENTAL**  
**CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI**  
**CARRERA DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**



Finca El Zapotillo, Zona 5, Municipio de Chiquimula, Chiquimula

Tel. 78730300

|                                      |                                     |                     |            |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------|
| <b>Referido por:</b>                 | Geovany Salomón Miranda Villela     | <b>No. Muestra:</b> | 01         |
| <b>Identificación de la Muestra:</b> | Vivero CUNORI                       | <b>Fecha:</b>       | 15/10/2012 |
| <b>Localización:</b>                 | Finca el Zapotillo Z. 5, Chiquimula |                     |            |
| <b>Tipo de Fuente:</b>               | Pozo                                |                     |            |
| <b>Uso de Agua:</b>                  | Riego                               |                     |            |
| <b>Telefono:</b>                     |                                     |                     |            |

| ANALISIS DE FISICO-QUIMICO DE AGUA |            |            |                         |                           |
|------------------------------------|------------|------------|-------------------------|---------------------------|
| PARAMETROS                         |            | RESULTADOS | Limite Maximo Aceptable | Limite Máximo Permissible |
| Turbidez                           | NTU        | 1.5        | 5                       | 15                        |
| Conductividad                      | μS/cm      | 732        | ---                     | menor de 1,500            |
| Temperatura*                       | °C         | 23.9       | 15 a 25                 | 34                        |
| Solidos Totales                    | mg/l       | 505        | 500                     | 1000                      |
| Sólidos Disueltos Totales          | mg/l       | 468.48     | ---                     | 500                       |
| Oxígeno Disuelto                   | mg/l       | 4.2        | 8                       | 4                         |
| Oxígeno Disuelto                   | % Sat.     | 63.8       | ---                     | 80 a 100                  |
| pH                                 | Unidades   | 7.71       | 7.0 a 7.5               | 6.5 a 8.5                 |
| Fosfatos                           | mg/l       | 0.400      | 0.5                     | 1                         |
| Nitratos                           | mg/l       | 0.98       | ---                     | 10                        |
| Nitritos                           | mg/l       | 0.0030     | ---                     | 0.1                       |
| Sulfato                            | mg/l       | 45.00      | 100                     | 250                       |
| Demanda Biológica de Oxígeno BDO5  | mg/l       | 15.00      | ---                     | 25                        |
| Dureza                             | mg/l CaCO3 | 300        | 100                     | 500                       |

\* Temperatura: los resultados corresponden a la temperatura de la muestra en el laboratorio, no en el campo

Licda. Vilma Leticia Ramos López  
 Responsable Laboratorio Ambiental

Los resultados de este informe son validos para la muestra como fue recibida en el laboratorio

Anexo 6. Promedios por repetición de cada uno de los tratamientos evaluados para las variables longitud del tallo, diámetro del tallo, materia seca del tallo y materia seca la raíz, de las plantas de pino producidas en contenedor, Chiquimula 2013.

| Tratamiento | Repetición | Longitud del Tallo en cms |        |        |         | Diámetro del Tallo en mm |        |        |         | Materia Seca en grs |      |
|-------------|------------|---------------------------|--------|--------|---------|--------------------------|--------|--------|---------|---------------------|------|
|             |            | 30 DDS                    | 60 DDS | 90 DDS | 120 DDS | 30 DDS                   | 60 DDS | 90 DDS | 120 DDS | Tallo               | Raíz |
| T0          | R1         | 3.40                      | 9.25   | 18.50  | 22.69   | 1.20                     | 1.11   | 1.65   | 1.90    | 3.82                | 0.57 |
|             | R2         | 3.70                      | 9.75   | 18.00  | 21.69   | 1.17                     | 1.08   | 1.58   | 1.74    | 2.60                | 0.48 |
|             | R3         | 3.75                      | 11.50  | 19.50  | 20.50   | 1.24                     | 1.15   | 1.74   | 1.71    | 2.66                | 0.41 |
|             | R4         | 5.50                      | 13.75  | 19.25  | 23.75   | 1.11                     | 1.17   | 1.93   | 2.07    | 2.74                | 0.62 |
|             | R5         | 3.60                      | 9.00   | 17.25  | 22.19   | 1.12                     | 1.05   | 1.68   | 1.85    | 3.01                | 0.57 |
| Promedio    |            | 3.99                      | 10.65  | 18.50  | 22.16   | 1.17                     | 1.11   | 1.71   | 1.85    | 2.97                | 0.53 |
| T1          | R1         | 3.00                      | 8.00   | 15.75  | 18.88   | 1.17                     | 1.17   | 1.30   | 1.62    | 2.08                | 0.56 |
|             | R2         | 4.15                      | 9.50   | 17.25  | 18.43   | 1.13                     | 1.11   | 1.65   | 1.74    | 2.53                | 0.61 |
|             | R3         | 4.00                      | 9.25   | 18.00  | 20.07   | 1.02                     | 1.08   | 1.75   | 1.86    | 2.41                | 0.73 |
|             | R4         | 3.50                      | 9.00   | 20.25  | 18.38   | 1.05                     | 1.16   | 1.70   | 1.81    | 2.34                | 0.53 |
|             | R5         | 4.70                      | 7.25   | 15.50  | 20.69   | 1.19                     | 1.03   | 1.33   | 1.84    | 2.59                | 0.70 |
| Promedio    |            | 3.87                      | 8.60   | 17.35  | 19.29   | 1.11                     | 1.11   | 1.55   | 1.78    | 2.39                | 0.63 |
| T2          | R1         | 3.90                      | 8.75   | 16.50  | 20.94   | 1.02                     | 1.05   | 1.58   | 1.65    | 2.09                | 0.55 |
|             | R2         | 3.35                      | 8.75   | 17.25  | 20.25   | 1.04                     | 1.13   | 1.63   | 1.73    | 2.90                | 0.53 |
|             | R3         | 4.25                      | 8.00   | 17.50  | 21.63   | 1.21                     | 1.21   | 1.53   | 1.84    | 2.75                | 0.60 |
|             | R4         | 4.15                      | 11.00  | 16.00  | 20.86   | 1.17                     | 1.25   | 1.70   | 1.89    | 2.29                | 0.70 |
|             | R5         | 4.85                      | 8.75   | 15.50  | 19.50   | 1.06                     | 1.10   | 1.58   | 1.74    | 2.43                | 0.58 |
| Promedio    |            | 4.10                      | 9.05   | 16.55  | 20.63   | 1.10                     | 1.15   | 1.60   | 1.77    | 2.49                | 0.59 |
| T3          | R1         | 4.00                      | 9.75   | 18.50  | 21.38   | 1.22                     | 1.26   | 1.75   | 1.79    | 2.63                | 0.56 |
|             | R2         | 3.90                      | 10.00  | 16.25  | 20.25   | 1.15                     | 1.23   | 1.70   | 2.00    | 2.39                | 0.44 |
|             | R3         | 4.60                      | 9.75   | 17.50  | 20.75   | 1.15                     | 1.15   | 1.65   | 1.84    | 2.27                | 0.44 |
|             | R4         | 3.45                      | 9.00   | 17.00  | 19.56   | 1.19                     | 1.19   | 1.73   | 1.69    | 2.49                | 0.53 |
|             | R5         | 4.15                      | 9.50   | 17.50  | 20.13   | 1.17                     | 1.28   | 1.80   | 1.87    | 2.36                | 0.59 |
| Promedio    |            | 4.02                      | 9.60   | 17.35  | 20.41   | 1.17                     | 1.22   | 1.73   | 1.84    | 2.43                | 0.51 |
| T4          | R1         | 3.15                      | 8.00   | 11.00  | 18.63   | 0.94                     | 1.05   | 1.55   | 1.81    | 2.44                | 0.36 |
|             | R2         | 3.45                      | 8.00   | 16.75  | 19.69   | 1.12                     | 1.13   | 1.65   | 1.77    | 2.53                | 0.36 |
|             | R3         | 3.25                      | 9.25   | 18.25  | 20.81   | 1.14                     | 1.18   | 1.75   | 1.83    | 3.13                | 0.57 |
|             | R4         | 3.25                      | 9.50   | 17.50  | 19.75   | 0.88                     | 1.13   | 1.65   | 1.79    | 2.51                | 0.48 |
|             | R5         | 4.35                      | 8.75   | 15.50  | 19.38   | 1.12                     | 1.19   | 1.55   | 1.89    | 2.29                | 0.41 |
| Promedio    |            | 3.49                      | 8.70   | 15.80  | 19.65   | 1.04                     | 1.13   | 1.63   | 1.82    | 2.58                | 0.44 |
| T5          | R1         | 3.15                      | 6.50   | 17.00  | 20.63   | 1.16                     | 1.18   | 1.75   | 1.72    | 2.46                | 0.60 |
|             | R2         | 4.15                      | 9.50   | 17.00  | 21.75   | 1.21                     | 1.30   | 1.83   | 1.90    | 2.83                | 0.70 |
|             | R3         | 3.50                      | 7.25   | 17.25  | 17.69   | 1.13                     | 1.10   | 1.63   | 1.77    | 2.18                | 0.61 |
|             | R4         | 3.85                      | 10.15  | 18.00  | 22.50   | 1.09                     | 1.10   | 1.58   | 1.99    | 3.71                | 0.80 |
|             | R5         | 4.20                      | 8.00   | 19.50  | 21.56   | 1.12                     | 1.24   | 1.78   | 1.82    | 2.83                | 0.64 |
| Promedio    |            | 3.77                      | 8.28   | 17.75  | 20.83   | 1.14                     | 1.18   | 1.71   | 1.84    | 2.80                | 0.67 |
| T6          | R1         | 4.70                      | 7.50   | 11.75  | 14.00   | 1.12                     | 1.24   | 1.18   | 1.44    | 0.98                | 0.17 |
|             | R2         | 3.20                      | 5.75   | 11.50  | 14.75   | 1.20                     | 1.12   | 1.18   | 1.35    | 2.18                | 0.37 |
|             | R3         | 4.25                      | 10.05  | 13.00  | 13.75   | 1.14                     | 1.19   | 1.33   | 1.42    | 1.88                | 0.37 |
|             | R4         | 4.70                      | 5.95   | 12.25  | 14.50   | 1.10                     | 1.20   | 1.33   | 1.34    | 2.53                | 0.36 |
|             | R5         | 2.15                      | 5.80   | 9.00   | 11.00   | 1.12                     | 1.11   | 1.07   | 1.13    | 1.04                | 0.10 |
| Promedio    |            | 3.80                      | 7.01   | 11.50  | 13.60   | 1.13                     | 1.17   | 1.21   | 1.33    | 1.72                | 0.27 |
| T7          | R1         | 3.45                      | 6.45   | 15.50  | 19.00   | 1.09                     | 1.16   | 1.25   | 1.44    | 2.52                | 0.42 |
|             | R2         | 3.90                      | 7.20   | 13.75  | 18.50   | 1.15                     | 1.19   | 1.35   | 1.47    | 2.19                | 0.66 |
|             | R3         | 3.45                      | 7.40   | 9.50   | 12.75   | 1.15                     | 1.21   | 1.25   | 1.18    | 1.44                | 0.42 |
|             | R4         | 3.95                      | 5.75   | 8.75   | 10.50   | 1.15                     | 1.19   | 1.10   | 1.22    | 1.87                | 0.50 |
|             | R5         | 3.50                      | 6.05   | 9.50   | 14.25   | 1.19                     | 1.15   | 1.23   | 1.27    | 1.56                | 0.37 |
| Promedio    |            | 3.65                      | 6.57   | 11.40  | 15.00   | 1.14                     | 1.18   | 1.24   | 1.32    | 1.91                | 0.48 |
| T8          | R1         | 3.05                      | 5.55   | 12.25  | 14.00   | 1.17                     | 1.09   | 1.24   | 1.31    | 1.69                | 0.54 |
|             | R2         | 3.40                      | 5.20   | 9.00   | 13.00   | 1.11                     | 1.18   | 1.05   | 1.23    | 0.92                | 0.31 |
|             | R3         | 3.60                      | 6.10   | 13.55  | 15.00   | 0.96                     | 1.22   | 1.25   | 1.34    | 1.38                | 0.34 |
|             | R4         | 2.95                      | 4.50   | 10.50  | 14.50   | 1.07                     | 1.20   | 1.25   | 1.19    | 1.37                | 0.50 |
|             | R5         | 3.15                      | 5.10   | 10.25  | 18.25   | 1.10                     | 1.10   | 1.18   | 1.32    | 1.63                | 0.51 |
| Promedio    |            | 3.23                      | 5.29   | 11.11  | 14.95   | 1.08                     | 1.16   | 1.19   | 1.28    | 1.40                | 0.44 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Promedios por repetición de cada uno de los tratamientos evaluados para la variable porcentaje de germinación y porcentaje de trasplante de las plantas de pino producidas en contenedor, Chiquimula. 2013.

| Tratamiento | Repetición | Porcentaje de Germinación |        |        | Porcentaje de Plantas Trasplantables |
|-------------|------------|---------------------------|--------|--------|--------------------------------------|
|             |            | 8 DDS                     | 15 DDS | 24 DDS |                                      |
| T0          | R1         | 4.17                      | 96.00  | 96.00  | 91.67                                |
|             | R2         | 4.17                      | 94.00  | 94.00  | 87.50                                |
|             | R3         | 8.33                      | 94.00  | 94.00  | 87.50                                |
|             | R4         | 4.17                      | 96.00  | 96.00  | 95.83                                |
|             | R5         | 4.17                      | 94.00  | 94.00  | 87.50                                |
| Promedio    |            | 5.00                      | 94.80  | 94.80  | 90.00                                |
| T1          | R1         | 8.33                      | 96.00  | 96.00  | 87.50                                |
|             | R2         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 95.83                                |
|             | R3         | 4.17                      | 94.00  | 94.00  | 87.50                                |
|             | R4         | 4.17                      | 96.00  | 94.00  | 87.50                                |
|             | R5         | 4.17                      | 91.00  | 91.00  | 83.33                                |
| Promedio    |            | 5.00                      | 93.80  | 93.40  | 88.33                                |
| T2          | R1         | 4.17                      | 95.00  | 95.00  | 87.50                                |
|             | R2         | 4.17                      | 94.00  | 94.00  | 83.33                                |
|             | R3         | 4.17                      | 93.00  | 93.00  | 79.17                                |
|             | R4         | 8.33                      | 96.00  | 96.00  | 83.33                                |
|             | R5         | 4.17                      | 90.00  | 90.00  | 70.83                                |
| Promedio    |            | 5.00                      | 93.60  | 93.60  | 80.83                                |
| T3          | R1         | 8.33                      | 94.00  | 94.00  | 79.17                                |
|             | R2         | 4.17                      | 90.00  | 90.00  | 91.67                                |
|             | R3         | 4.17                      | 91.00  | 91.00  | 79.17                                |
|             | R4         | 8.33                      | 93.00  | 93.00  | 83.33                                |
|             | R5         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 87.50                                |
| Promedio    |            | 5.83                      | 92.00  | 92.00  | 84.17                                |
| T4          | R1         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 79.17                                |
|             | R2         | 8.33                      | 91.00  | 91.00  | 83.33                                |
|             | R3         | 4.17                      | 90.00  | 90.00  | 87.50                                |
|             | R4         | 8.33                      | 94.00  | 94.00  | 83.33                                |
|             | R5         | 8.33                      | 93.00  | 93.00  | 83.33                                |
| Promedio    |            | 6.67                      | 92.00  | 92.00  | 83.33                                |
| T5          | R1         | 4.17                      | 94.00  | 94.00  | 87.50                                |
|             | R2         | 4.17                      | 94.00  | 94.00  | 83.33                                |
|             | R3         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 87.50                                |
|             | R4         | 8.33                      | 90.00  | 90.00  | 95.83                                |
|             | R5         | 8.33                      | 92.00  | 92.00  | 95.83                                |
| Promedio    |            | 5.83                      | 92.40  | 92.40  | 90.00                                |
| T6          | R1         | 8.33                      | 93.00  | 93.00  | 58.33                                |
|             | R2         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 66.67                                |
|             | R3         | 8.33                      | 90.00  | 90.00  | 58.33                                |
|             | R4         | 8.33                      | 94.00  | 94.00  | 62.50                                |
|             | R5         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 54.17                                |
| Promedio    |            | 6.67                      | 92.20  | 92.20  | 60.00                                |
| T7          | R1         | 8.33                      | 90.00  | 90.00  | 75.00                                |
|             | R2         | 4.17                      | 89.00  | 89.00  | 62.50                                |
|             | R3         | 4.17                      | 88.00  | 88.00  | 58.33                                |
|             | R4         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 70.83                                |
|             | R5         | 8.33                      | 94.00  | 94.00  | 66.67                                |
| Promedio    |            | 5.83                      | 90.60  | 90.60  | 66.67                                |
| T8          | R1         | 8.33                      | 89.00  | 89.00  | 66.67                                |
|             | R2         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 62.50                                |
|             | R3         | 8.33                      | 91.00  | 91.00  | 66.67                                |
|             | R4         | 8.33                      | 90.00  | 90.00  | 70.83                                |
|             | R5         | 4.17                      | 92.00  | 92.00  | 58.33                                |
| Promedio    |            | 6.67                      | 90.80  | 90.80  | 65.00                                |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Registros históricos de temperatura de la estación meteorológica del Centro Universitario de Oriente CUNORI, Chiquimula.

| Estación meteorológica | Año/mes | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| CUNORI                 | 2011    | 24.7  | 25.3    | 26    | 28.3  | 28.2 | 26.9  | 25.9  | 26.4   | 26.2       | 24      | 23.5      | 24.4      |
|                        | 2012    | 24.1  | 25.4    | 26.3  | 27.5  | 27.9 | 26.7  | 26.5  | 26.4   | 26         | 25.2    | 23.7      | 23.4      |

Fuente: Estación meteorológica del Centro Universitario de Oriente CUNORI, Chiquimula.

Anexo 9. Tablas de datos de laboratorio durante el desarrollo de investigación.

Determinación de Humedad de los Materiales.

| Materiales                  | Peso Capsula (g) | Peso Muestra Humeda (g) | Peso Capsula + Muestra Humeda (g) | Peso Capsula + Muestra Seca (g) | Peso del Agua (g) | Peso Muestra Seca (g) | Base Seca (%) | Porcentaje de Humedad (%) |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| <i>Carbón</i>               | 74.6935          | 10.0131                 | 84.7066                           | 84.3232                         | 0.3834            | 9.6297                | 96.17         | 3.83                      |
| <i>Pieda Volcánica</i>      | 79.6637          | 10.063                  | 89.7267                           | 89.1807                         | 0.546             | 9.517                 | 94.57         | 5.43                      |
| <i>Bocashi</i>              | 90.9581          | 10.0077                 | 100.9658                          | 98.2846                         | 2.6812            | 7.3265                | 73.21         | 26.79                     |
| <i>Semolina</i>             | 46.0155          | 10.0118                 | 56.0273                           | 54.9085                         | 1.1188            | 8.893                 | 88.83         | 11.17                     |
| <i>Fibra de Coco</i>        | 45.6904          | 10.0694                 | 55.7598                           | 54.3482                         | 1.4116            | 8.6578                | 85.98         | 14.02                     |
| <i>Cascarrilla de maní</i>  | 44.7805          | 10.0441                 | 54.8246                           | 53.6036                         | 1.221             | 8.8231                | 87.84         | 12.16                     |
| <i>Cascabillo de café</i>   | 49.1168          | 10.0132                 | 59.13                             | 58.0304                         | 1.0996            | 8.9136                | 89.02         | 10.98                     |
| <i>Cascarrilla de arroz</i> | 46.2706          | 10.0294                 | 56.3                              | 55.3182                         | 0.9818            | 9.0476                | 90.21         | 9.79                      |
| <i>Peat moss</i>            | 47.3258          | 10.0057                 | 57.3315                           | 52.3843                         | 4.9472            | 5.0585                | 50.56         | 49.44                     |

Determinación de Humedad de los Sustratos (Tratamientos).

| Sustratos (Tratamientos) | Peso Capsula (g) | Peso Muestra Humeda (g) | Peso Capsula + Muestra Humeda (g) | Peso Capsula + Muestra Seca (g) | Peso del Agua (g) | Peso Muestra Seca (g) | Base Seca (%) | Porcentaje de Humedad (%) |
|--------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| <i>T1</i>                | 79.6292          | 10.002                  | 89.6312                           | 88.5836                         | 1.0476            | 8.9544                | 89.53         | 10.47                     |
| <i>T2</i>                | 94.3177          | 10.0007                 | 104.3184                          | 103.7045                        | 0.6139            | 9.3868                | 93.86         | 6.14                      |
| <i>T3</i>                | 92.2515          | 10.0063                 | 102.2578                          | 101.1545                        | 1.1033            | 8.903                 | 88.97         | 11.03                     |
| <i>T4</i>                | 108.5576         | 10.0053                 | 118.5629                          | 117.4385                        | 1.1244            | 8.8809                | 88.76         | 11.24                     |
| <i>T5</i>                | 96.0437          | 10.0008                 | 106.0445                          | 104.9815                        | 1.063             | 8.9378                | 89.37         | 10.63                     |
| <i>T6</i>                | 74.706           | 10.0084                 | 84.7144                           | 83.5345                         | 1.1799            | 8.8285                | 88.21         | 11.79                     |
| <i>T7</i>                | 93.8805          | 10.001                  | 103.8815                          | 102.6501                        | 1.2314            | 8.7696                | 87.69         | 12.31                     |
| <i>T8</i>                | 90.9678          | 10.0015                 | 100.9693                          | 100.0284                        | 0.9409            | 9.0606                | 90.59         | 9.41                      |

Fuente: Laboratorio Ambiental, CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-

Anexo 10. Plan de fertilización de plantas de pino (*P. oocarpa* Shiede) y (*C. odorata* L.), en la localidad del vivero de la carrera de Agronomía, CUNORI, Chiquimula 2013<sup>3</sup>.

| Programa de Fertilización Utilizado en la Fase de Campo del Experimento |                      |                                 |                                  |                                         |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
| Fase de Desarrollo                                                      | Etapas de Aplicación | Duración (semanas)              | Fertilizante (fórmula)           | Concentración Recomendada Gramos/planta |
| <b>Germinación</b>                                                      |                      | 1 <sup>a</sup> – 3 <sup>a</sup> | Sin fertilizante                 |                                         |
| <b>Crecimiento Inicial</b>                                              | 1                    | 4°                              | Raizal                           | 0.02                                    |
|                                                                         | 2                    | 5°                              | Raizal<br>Quelatos               | 0.03<br>100                             |
|                                                                         | 3                    | 6°                              | Raizal<br>Quelatos               | 0.035<br>100                            |
|                                                                         | 4                    | 7°                              | Raizal<br>Quelatos               | 0.045<br>100                            |
| <b>Crecimiento Rapido</b>                                               | 5                    | 8°                              | 20-07-19<br>Quelatos             | 0.05<br>100                             |
|                                                                         | 6                    | 9°                              | 20-07-19<br>Quelatos             | 0.055<br>100                            |
|                                                                         | 7                    | 10°                             | 20-07-19<br>Quelatos<br>Quelatos | 0.06<br>100                             |
|                                                                         | 8                    | 11°                             | 20-7-19<br>Quelatos              | 0.06<br>100                             |
| <b>Endurecimiento o Lignificación</b>                                   | 9                    | 12°                             | Raizal<br>Quelatos               | 0.065<br>100                            |
|                                                                         | 10                   | 13°                             | 20-07-19<br>05-25-35             | 0.07<br>0.075                           |
|                                                                         | 11                   | 14°                             | 05-25-35<br>07-40-20             | 0.08<br>0.08                            |
|                                                                         | 12                   | 15°                             | 20-07-19<br>07-40-20             | 0.08<br>0.08                            |
|                                                                         | 13                   | 16°                             | 07-40-20<br>05-25-35             | 0.08<br>0.08                            |

<sup>3</sup> Cú J. 2012. Producción forestal (Entrevista). Coban, GT, FEDECOVERA. CUNORI.

Anexo 11. Control fitosanitario de plantas de pino (*P. oocarpa* Shiede) y (*C. odorata* L.), en la localidad del vivero de la carrera de Agronomía, CUNORI, Chiquimula 2013<sup>4</sup>.

| Programa de Control Fitosanitario en la Fase de Campo del Experimento |                     |                                 |                       |                                           |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| Fase de Desarrollo                                                    | Etapas de Apicación | Duración (semanas)              | Fórmula               | Concentración Recomendada Gramos/20 litro |
| Germinación                                                           |                     | 1 <sup>a</sup> – 3 <sup>a</sup> | Semebin               | 10                                        |
|                                                                       |                     |                                 | Banrot                | 100                                       |
| Crecimiento Inicial                                                   | 1                   | 4 <sup>o</sup>                  | Banrot                | 50                                        |
|                                                                       | 2                   | 5 <sup>o</sup>                  | Banrot<br>Insecticida | 50<br>A                                   |
|                                                                       | 3                   | 6 <sup>o</sup>                  | Banrot<br>Insecticida | 50<br>B                                   |
|                                                                       | 4                   | 7 <sup>o</sup>                  | Banrot<br>Insecticida | 50<br>C                                   |
| Crecimiento Rapido                                                    | 5                   | 8 <sup>o</sup>                  | Banrot                | 50                                        |
|                                                                       | 6                   | 9 <sup>o</sup>                  | Banrot<br>Insecticida | 50<br>D                                   |
|                                                                       | 7                   | 10 <sup>o</sup>                 | Banrot<br>Insecticida | 50<br>E                                   |
|                                                                       | 8                   | 11 <sup>o</sup>                 | Banrot                | 50                                        |
| Endurecimiento o Lignificación                                        | 9                   | 12 <sup>o</sup>                 | Banrot<br>Insecticida | 50<br>F                                   |
|                                                                       | 10                  | 13 <sup>o</sup>                 | Banrot                | 50                                        |
|                                                                       | 11                  | 14 <sup>o</sup>                 | Banrot<br>Insecticida | 50<br>G                                   |
|                                                                       | 12                  | 15 <sup>o</sup>                 | Banrot                | 50                                        |
|                                                                       | 13                  | 16 <sup>o</sup>                 | Banrot                | 50                                        |

**A** = Malathion 1 ½ cc + Adherente 1 ½ cc + pH 1 ½ cc, bomba de 21 litros

**B** = Metil Paration 1 ½ cc + Adherente + 1 ½ cc pH, bomba de 21 litros

**C** = Bayfolan Forte 5 cc + Adherente 1 ½ cc + pH 1 ½ cc + Niwmectin 10 cm, bomba de 21 litros

**D** = Metil Paration 1 ½ cc + Adherente 1 ½ cc + pH 1 ½ cc, bomba de 21 litros

**E** = Bayfolan Forte 5 cc + de Malathion 1 ½ cc + Adherente 1 ½ cc + pH 1 ½ c c + 10 cm Niwmectin, bomba de 21

**F** = Metil Paration 1 ½ cc + Adherente 1 ½ cc + pH 1 ½ cc, bomba de 21 litros

**G** = Bayfolan Forte 5 cc + Malathion 1 ½ cc + Adherente 1 ½ cc + pH 1 ½ cc, bomba de 21 litros

<sup>4</sup> Cú J. 2012. Producción forestal (Entrevista). Coban, GT, FEDECOVERA. CUNORI.



Anexo 12. Fotografías varias.



Recolección de microorganismos de montaña



Preparación de microorganismos de montaña



Activación de microorganismos de montaña



Análisis de laboratorio



Análisis de laboratorio



Análisis de laboratorio



Pruebas de germinación



Pruebas de germinación



Desinfección de los contenedores



Llenado de los contenedores



Lavado de los sustratos



Siembra en contenedores





Aplicación de piedra pomez



Identificación de contenedores



Visita FEDECOVERA



Germinación de plantas de pino  
(*P. oocarpa* Shiede)



Altura de plantas de pino  
(*P. oocarpa* Shiede)



Díámetro de plantas de pino  
(*P. oocarpa* Shiede)



Materia seca de tallo de pino  
(*P. oocarpa* Shiede)



Materia seca de raíz de pino  
(*P. oocarpa* Shiede)



Calidad de adobe de pino  
(*P. oocarpa* Shiede)



Plantas trasplante de pino  
(*P. oocarpa* Shiede)



Germinación de plantas de cedro  
(*C. odorata* L.)



Altura de plantas de cedro  
(*C. odorata* L.)