


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man in a crown and robes, holding a staff. Above him is a crown with a cross. To the left is a castle, and to the right is a lion. Below the central figure is a horse. The seal is surrounded by Latin text: "CONSPICUA + CAROLINA ACADEMIA" at the top and "SACRISORBIS" on the left and "COAGTEMALENSIS INTER" on the right.

TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN LA EMPRESA “PILONES DE ANTIGUA S.A”, ANTIGUA GUATEMALA CON ÉNFASIS A: EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AUXINAS PARA LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMERCIAL DE 4 ESPECIES FORESTALES: MELINA (*Gmelina arborea*), EUCALIPTO (*Eucaliptus urograndis*), PINO(*Pinus patula*) Y PINABETE(*Abies guatemalensis*).

JORGE LUIS OVALLE LÓPEZ.

Guatemala, noviembre 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN LA EMPRESA “PILONES DE ANTIGUA S.A”, ANTIGUA GUATEMALA CON ÉNFASIS A: EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AUXINAS PARA LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMERCIAL DE 4 ESPECIES FORESTALES: MELINA (*Gmelina arborea*), EUCALIPTO (*Eucaliptus urograndis*), PINO(*Pinus patula*) Y PINABETE(*Abies guatemalensis*).

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JORGE LUIS OVALLE LOPEZ.

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

RECTOR MAGNIFICO

LICENCIADO CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Msc.	Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr.	Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr.	Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Msc	Oscar René Leiva Ruano
VOCAL CUARTO	P. Forestal	Axel Esaú cuma
VOCAL QUINTO	P. Contador	Carlos Monterroso Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Agr, Msc.	Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, noviembre de 2010

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

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 REALIZADO EN LA EMPRESA “PILONES DE ANTIGUA S.A”, ANTIGUA GUATEMALA CON ÉNFASIS A: EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AUXINAS PARA LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMERCIAL DE 4 ESPECIES FORESTALES: MELINA(*Gmelina arborea*), EUCALIPTO(*Eucalyptus urograndis*), PINO(*Pinus patula*) Y PINABETE(*Abies guatemalensis*)**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

JORGE LUIS OVALLE LÓPEZ

ACTO QUE DEDICÓ

A:

DIOS: Que todo sea en Ti, Por Ti y como Tú quieras.

MIS PADRES: Sandra Elizabeth López De Ovalle, Jorge Luis Ovalle Aguirre. Todo lo que soy, se los debo. Atribuyo todos mis éxitos en esta vida a la enseñanza moral, intelectual y física que he recibido de ustedes.

MIS ABUELOS: Hilda Ester Aguirre De Ovalle (+), Jorge Luis Ovalle Recinos (+). En mi corazón y en mi mente siempre, gracias por enseñarme todo, yo se que allá arriba están contentos.

MIS HERMANOS: Ligia Susseth Ovalle López, Jorge Alejandro Ovalle López, Jullissa Carini Carrillo Ovalle, Janitsa Carlovi Carrillo. Estoy orgulloso de ustedes, gracias por ser mi inspiración, por ser mis compañeros, por ayudarme a perseverar.

MI SOBRINO: Luis Ángel Ovalle López. Gracias por ser una luz en mi vida.

MIS TÍOS: Julio cesar Carrillo Ortiz (+), María Felisa Ovalle viuda de Carrillo, Walter Alfonso Ovalle Aguirre, Leticia Ovalle, Francisco Morales. Gracias por ser como unos padres, por su ayuda y apoyo incondicional.

MIS AMIGOS: Pablo José Méndez Ortega (+). A todos los que han estado siempre conmigo. Al final, no nos acordaremos tanto de las palabras de nuestros enemigos, sino de los silencios de nuestros amigos.

MI PAÍS: Guatemala. Con respeto y admiración.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICÓ

A:

DIOS.

MI FAMILIA.

MIS CENTROS DE ESTUDIOS:

COLEGIO BROOKLYN SCHOOL.

COLEGIO MIXTO SANTIAGO DE LOS CABALLEROS.

COLEGIO "LA SALLE".

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

A TODAS LAS PERSONAS QUE CONTRIBUYERON A MI FORMACIÓN.

AGRADECIMIENTOS

A:

DIOS: Por darme sabiduría y guiarme en todo momento.

MI ABUELITA: Hilda Ester Aguirre De Ovalle (+). Tus brazos siempre se abrían cuando quería un abrazo. Tu corazón comprendía cuando necesitaba una amiga. Tus ojos tiernos se endurecían cuando me hacía falta una lección. Tu fuerza y tu amor me guiaron, y me dieron alas para volar. En mi corazón y mente siempre estarás.

MIS PADRES: Sandra Elisabeth López de Ovalle, Jorge Luis Ovalle Aguirre. Lo logramos, gracias por sus consejos y su anhelo de sacarme adelante, gracias por su apoyo incondicional, como una pequeña recompensa.

MIS HERMANOS: Ligia Ovalle, Jorge Alejandro Ovalle, Jullissa Carrillo Ovalle, Carlovi Carrillo Ovalle. Gracias por sus consejos, apoyo y compañía en todo momento.

MIS TIA: María Felisa Ovalle, gracias por ser como mi madre, ¿cómo te puedo pagar, todo lo que haces por mí? solamente con mi vida.

MIS AMIGOS: Gracias por todo el tiempo que pasamos juntos, por los buenos y grandes momentos siempre los recordare.

MI SUPERVISOR: Ing. Agr. Fredy Hernández Ola. Gracias por el apoyo incondicional.

MIS ASESORES: Ing. Agr. Domingo Amador (+). Ing. Agr. Guillermo García. Gracias por su apoyo y su tiempo.

AL PERSONAL TECNICO Y ADMINISTRATIVO DE LA EMPRESA “PILONES DE ANTIGUA S.A”, EN ESPECIAL A:

Ing. Richard Rotter, Ing. Luis Guzmán, Ing. Marvin Escobar, Ing. Ángel Ibarra, Ing. Luis Rodríguez, Licda. Nancy de Mendoza, Dr. Luis Mejía, Ing. Rudy Teni, P.Agr. Fidelino Azurdía, Carlos Salazar, Oscar López, Carol Pellecer, Julio Zuleta, William Garcia, Marta Leticia Santos, Lidia Acual, Cecilio Coc, Mario Segura, Antonio Pamal, Oliverto Ordoñez, Mauricio Zul, Carlos Borrayo.

Por la muestra de compañerismo, cooperación y apoyo a la realización del presente.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN GENERAL.....	vii
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO DEL AREA DE PROPAGACIÓN DE PLANTAS DE LA EMPRESA "PILONES DE ANTIGUA S,A.....	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	2
1.2 MARCO REFERENCIAL.....	3
1.2.1 Generalidades del área biofísicas.....	3
1.2.2 Especies a trabajar.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivo específicos.....	4
1.4 METODOLOGÍA.....	5
1.4.1 Determinación de la situación actual del proceso de propagación de plantas.....	5
1.4.2 Determinación de las diferentes metodologías utilizadas para la propagación de plantas.....	5
1.4.3 Establecimiento de las principales limitantes para el proceso de propagación de plantas.....	5
1.5 RESULTADOS.....	6
1.5.1 Determinación de la situación actual del proceso de propagación de plantas.....	6
1.5.2 Metodologías utilizadas para la propagación vegetativa de plantas.....	8
1.5.3 Principales limitantes para el proceso de propagación de plantas.....	8
1.6 CONCLUSIONES.....	9
1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	9
CAPÍTULO II: EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AUXINAS PARA LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMERCIAL DE 4 ESPECIES FORESTALES: MELINA (<i>Gmelina arborea</i>), EUCALIPTO (<i>Eucalyptus urograndis</i>), PINO (<i>Pinus patula</i>) Y PINABETE (<i>Abies guatemalensis</i>).....	10
2.1 PRESENTACIÓN.....	11
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	13

2.2.1 Descripción del material.....	13
A. Gmelina arborea Roxb.....	13
a. Clasificación taxonómica.....	13
b. Descripción botánica.....	14
c. Características y propiedades de la madera.....	16
B. Eucalipto (<i>Eucalyptus urograndis</i>).....	16
a. Clasificación taxonómica.....	16
b. Descripción botánica.....	17
c. Características y propiedades de la madera.....	18
C. Pino (<i>Pinus patula</i>).....	18
a. Clasificación taxonómica.....	18
b. Descripción botánica.....	18
c. Características y propiedades de la madera.....	19
d. Usos de la madera.....	20
D. Pinabete (<i>Abies guatemalensis</i> Renhder).....	20
a. Clasificación taxonómica.....	21
b. Descripción botánica.....	21
c. Características y propiedades de la madera.....	22
2.2.2 Propagación vegetativa.....	23
A. Propagación por medio de estacas.....	23
B. Desarrollo de raíces en estacas de tallos.....	24
a. Formación de raíces adventicias.....	24
b. Formación del callo.....	25
C. Proceso del enraizamiento.....	25
D. Factores que influyen en el enraizamiento.....	25
a. Factores endógenos.....	25
i. Edad de la planta madre y de la estaca.....	25
ii. Nutrición de la planta patrón.....	26
iii. Niveles de auxina.....	26
iv. Posición de la estaca en la planta madre.....	26
v. Cofactores de enraizamiento.....	27
b. Factores exógenos.....	27
i. Condiciones ambientales.....	27
ii. Tratamiento con reguladores de crecimiento.....	28
iii. Sustrato.....	28
2.2.3 Reguladores de crecimiento.....	29
A. Terminos generales.....	29
a. Auxinas.....	29
i. Efectos biológicos de las auxinas.....	29
ii. Mecanismos de acción de las auxinas.....	30
B. Utilización de reguladores de crecimiento para estimular el	

enraizamiento.....	30
C. Métodos de aplicación de reguladores de crecimiento.....	30
a. Método espolvoreado.....	30
b. Método de inmersión rápida.....	31
2.2.4 Trabajos realizados sobre propagación vegetativa en especies forestales.....	31
2.3 OBJETIVOS.....	34
2.3.1 Objetivo general.....	34
2.3.2 Objetivo específico:.....	34
2.4 HIPOTESIS.....	34
2.5 METODOLOGIA.....	35
2.5.1 Sitio experimental.....	35
2.5.2 Materiales.....	35
2.5.3 Metodología experimental.....	35
A. Diseño experimental.....	35
B. Tratamientos.....	36
C. Modelo estadístico.....	36
D. Unidad experimental.....	36
2.5.4. Manejo del experimento.....	37
A. Desinfección de las unidades experimentales.....	37
B. Sustrato.....	37
C. Elaboración de concentraciones.....	37
D. Esquejes.....	37
a. Corte.....	37
b. Desinfección.....	38
c. Aplicación de ácido indolbutírico.....	38
d. Siembra.....	38
e. Área de enraizamiento.....	38
f. Área de adaptación.....	39
g. Campo.....	39
E. Riego.....	39
F. Fertilización.....	39
2.5.5 Manejo de las plantas madres.....	39
A. Fertilización.....	40
B. Riego.....	41
C. Podas.....	41
2.5.6 Variables de respuesta.....	41
A. Variables cuantitativas.....	42
a. Longitud de raíces.....	42
b. Peso seco de las raíces.....	42
2.5.7 Análisis estadístico.....	42

2.5.8 Análisis cualitativo.....	42
2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
2.6.1 Porcentaje de materia seca.....	43
2.6.2 Longitud de raíces.....	44
2.6.3 Porcentaje de enraizamiento.....	47
2.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
2.7.1 CONCLUSIONES.....	49
2.7.2 RECOMENDACIONES.....	50
2.8 BIBLIOGRAFÍA.....	51
2.9 ANEXO.....	54

CAPÍTULO III: SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA "PILONES DE ANTIGUA S.A".....62

3.1 PRESENTACIÓN.....	63
3.2 Mantenimiento del área de enraizamiento para la propagación vegetativa.....	64
3.2.1 OBJETIVOS.....	64
3.2.2 METODOLOGÍA.....	64
A. Prevención fitosanitaria.....	64
a. Esterelización.....	64
b. Plagas.....	64
c. Patogenos.....	65
B. Riego.....	66
a. Nebulizadores.....	66
b. Filtro.....	67
c. Controladores.....	68
C. Temperatura y Humedad relativa.....	68
a. Temperatura.....	68
b. Humedad relativa.....	68
3.2.3 Evaluación.....	69

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
Cuadro 1.	Tratamientos del diseño experimental.....	36
Cuadro 2.	Riego de los esquejes dentro del invernadero.....	39
Cuadro 3.	Requerimiento nutricional de las plantas madres	41
Cuadro 4.	Riego de las plantas madres por especie.....	41
Cuadro 5.	Resultados del análisis de varianza (ANDEVA) del porcentaje de materia seca.....	43
Cuadro 6.	Resultado de las medias del porcentaje de materia seca.....	43
Cuadro 7.	Resultados del análisis de varianza (ANDEVA) de las longitudes de raíces de las especies.....	44
Cuadro 8.	Resultados de las medias de las longitudes de raíces de las especies.....	45
Cuadro 9A.	Resultados de las longitudes de raíces por tratamiento.....	54
Cuadro 10A.	Resultados del porcentaje de materia seca.....	55
Cuadro 11A.	Resultados del porcentaje de enraizamiento.....	60
Cuadro 12A.	Análisis de varianza porcentaje de materia seca.....	60
Cuadro 13A.	Prueba de tukey del análisis de varianza del porcentaje de materia seca.....	60
Cuadro 14A.	Análisis de varianza de las longitudes de raíces.....	61
Cuadro 15A.	Prueba de tukey del análisis de varianza de la longitud de raíces.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Ubicación finca La Azoteita Jocotenango.....	3
Figura 2. Área de plantas madres.....	7
Figura 3. Invernadero de enraizamiento.	7
Figura 4. Tamaño de esquejes en A) Eucalipto (<i>Eucaliptus urograndis</i>) B) Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb), C) Pino (<i>Pinus patula</i>), D) Pinabete (<i>Abies guatemalensis</i> Rehder).....	38
Figura 5. Plantas madres de: A) Eucalipto (<i>Eucaliptus urograndis</i>), B) Pino (<i>pinus patula</i>).....	40
Figura 6. Plantas madres de: A) Pinabete (<i>Abies guatemalensis</i> Rehder), B) Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb),	40
Figura 7. Longitud de raíces de Eucalipto (<i>Eucaliptus urograndis</i>).....	46
Figura 8. Longitud de raíces: A) Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb), B) Pino (<i>Pinus patula</i>), C) Pinabete (<i>Abies guatemalensis</i> Rehder).....	46
Figura 9. Porcentajes de enraizamiento de cada especie y las diferentes concentraciones de auxinas	47
Figura 10. Manchas de alga en el área de enraizamiento.....	65
Figura 11. Nebulizadores sucios con algas.....	67
Figura 12. A) Nebulizador desarmado, B) Nebulizador limpio.....	67
Figura 13. Área de enraizamiento.....	69

TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN LA EMPRESA “PILONES DE ANTIGUA S.A”, ANTIGUA GUATEMALA CON ÉNFASIS A: EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AUXINAS PARA LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMERCIAL DE 4 ESPECIES FORESTALES: MELINA (*Gmelina arborea*), EUCALIPTO (*Eucaliptus urograndis*), PINO(*Pinus patula*) Y PINABETE(*Abies guatemalensis*).

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la empresa Pilonos de Antigua S.A, la cual se ubica en la Antigua Guatemala municipio del departamento de Sacatepéquez. Esta empresa por competir a nivel internacional se han dado cuenta que la propagación vegetativa es una opción, con muchas ventajas sobre la propagación sexual. A partir del 2,004 Pilonos de Antigua S.A. decide investigar la forma de reproducción vía clonal (enraizamiento de esquejes) u reproducción vegetativa para las siguientes especies de forma comercial: melina (*Gmelina arborea* Roxb), eucalipto (*Eucaliptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder).

A través del diagnóstico se determinó que el área de propagación vegetativa, contaba con algunas limitantes, era necesario desarrollar una metodología que permitiera obtener un enraizamiento exitoso en las especies a trabajar, el cual podría ser a través del empleo de auxinas para acelerar e inducir el enraizamiento. Se evidencio la carencia de una metodología para el mantenimiento del área de enraizamiento, que permitiera mostrar los factores más importantes para la producción de esquejes.

En la investigación se evaluó el enraizamiento de esquejes de melina, eucalipto, pino y pinabete utilizando las siguientes concentraciones de auxinas 4,000 ppm, 6,000 ppm y 8,000 ppm de ácido indolbutírico, el resultado fue que las concentraciones de auxinas utilizadas de ácido indolbutírico no provocó diferencia significativa, sin embargo si hubo diferencia significativa, en las especies forestales, eucalipto, melina, pino y pinabete. Las variables de respuestas fueron, el peso seco de las raíces, que se realizó con la prueba de medias, el eucalipto presentó 4.2 %, la melina 3.74 %, siendo estos porcentajes altos en materia seca, el pino presentó 2.08 % y pinabete 1.68% ambos presentaron porcentaje de materia seca bajos.

Sin embargo las medias de las longitudes de raíces tuvieron diferencia significativa en función de la especie con la mayor longitud de raíces, se obtuvo en el eucalipto con 12.46 cm, la melina con 8.62 cm, el pino con 3.6 cm y el pinabete 1.18 cm.

Se estableció un procedimiento para la propagación de vegetativa del eucalipto, melina, pino y pinabete.

A través del primer servicio se describe la metodología del mantenimiento del área de enraizamiento, que se utiliza en la empresa Pilonos de Antigua S.A, es un manual de procedimientos que describe detalladamente cada uno de los pasos más importantes y de las condiciones que se deben tener en el invernadero para lograr un enraizamiento adecuado.

Este documento es producto del programa del ejercicio profesional supervisado EPISA, ejecutado en el período de febrero a noviembre del 2008, en la empresa “Pilonos de Antigua S.A”.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE PLANTAS DE LA EMPRESA “PILONES DE ANTIGUA S,A,” CON ENFASIS A: EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AUXINAS PARA LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMERCIAL DE 4 ESPECIES FORESTALES: MELINA (*Gmelina arborea*), EUCALIPTO (*Eucalyptus urograndis*), PINO (*Pinus patula*) Y PINABETE (*Abies guatemalensis*).

1.1 PRESENTACIÓN

Pilones de Antigua S.A. es una empresa que se dedica a la producción y comercialización de pilones de varias especies. Esta empresa en su afán por competir a nivel internacional se ha dado cuenta que la propagación vegetativa es una opción, con muchas ventajas sobre la propagación sexual, como la propagación de plantas con semilla con problemas de germinación y la rapidez, facilidad y economía que representa este método.

A partir del 2,004 Pilones de Antigua S.A. decide investigar la forma de reproducción vía clonal (enraizamiento de esquejes) u reproducción vegetativa para las siguientes especies de forma comercial: teca, eucalipto, melina, pino y pinabete.

En este informe se realizó un recorrido por el área de propagación vegetativa con el encargado, para realizar el diagnóstico, donde la principal limitante, es que no existe ningún tipo de metodología a seguir para el enraizamiento de melina (*Gmelina arborea* Roxb), eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder).

Se ha utilizado diferentes dosis de ácido indolbutírico para el enraizamiento, sin embargo las dosis utilizadas no han funcionado. Para fines comerciales se debe experimentar con dosis de ácido indolbutírico que faciliten el enraizamiento de esquejes de la melina, eucalipto, pino y pinabete y desarrollar una metodología a seguir para la propagación vegetativa de estas especies.

1.2 MARCO REFERENCIAL

1.2.1 Generalidades del área biofísicas

La finca La Azoteita donde opera “Pilones de Antigua S.A”. Se localiza, Carretera a Jocotenango, en el copante de la Antigua Guatemala, municipio del departamento de Sacatepéquez, tiene una extensión aproximada de 78 kilómetros cuadrados, limita al Norte y al Este con San Bartolomé Milpas Altas, al Sur con Santa María de Jesús, al Oeste con San Antonio Aguas Calientes, Ciudad Vieja y Santa Catarina Barahona, todos del mismo departamento. Las coordenadas geográficas: Latitud Norte: 14°36'57”, Longitud Oeste 90°38'37”, elevación 1530.17 msnm.

Tiene una altura de 1530.17 msnm, una temperatura media de 18.4°C, una máxima de 22.7°C y una mínima de 14°C. Su clima puede denominarse que predomina el templado, la precipitación pluvial oscila entre 1100 a 1349 mm. Como promedio total anual, pertenece a la zona de vida bosque húmedo subtropical templado (IGN 1976).

La Antigua Guatemala está constituida por rocas sedimentarias del cuaternario, así como rocas volcánicas terciarias y cuaternarias.

Los suelos se encuentran clasificados en el grupo I, son suelos de las montañas volcánicas (IGN 1976).



Figura 1. Ubicación finca La Azoteita Jocotenango. Fuente: Pilones de Antigua S.A

1.2.2 Especies a trabajar

Pilones de Antigua S.A. tiene como propósito que la reproducción vegetativa de melina (*Gmelina arborea* Roxb), Eucalipto (*Eucaliptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) se realice de forma comercial, porque es alternativa con ventajas sobre la reproducción asexual.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Elaborar un Diagnóstico del estado actual del Área de Propagación de plantas de la empresa Pilones de Antigua.

1.3.2 Objetivo específicos

1. Determinar la situación actual del proceso de propagación de plantas.
2. Determinar las diferentes metodologías utilizadas para la propagación de plantas.
3. Establecer las principales limitantes para el proceso de propagación de plantas.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Determinación de la situación actual del proceso de propagación de plantas.

- Se realizó un recorrido por las instalaciones de la empresa para observar sus procesos de producción en la propagación de plantas.
- Se realizó una entrevista con el encargado del área de propagación vegetativa, para recabar información sobre los antecedentes del proceso de propagación de plantas.

1.4.2 Determinación de las diferentes metodologías utilizadas para la propagación de plantas.

- Se realizó una entrevista con el encargado del área de propagación de plantas para conocer la metodología que se realizaba para la propagación vegetativa.

1.4.3 Establecimiento de las principales limitantes para el proceso de propagación de plantas.

- Durante el recorrido se observó, el principal factor que limita el proceso de propagación de plantas.
- Análisis de la información obtenida.
- Realización de un informe final de diagnóstico del proceso de propagación vegetativa de plantas.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Determinación de la situación actual del proceso de propagación de plantas

Se realizó una entrevista con el encargado de producción, donde se recabo información que a partir del 2,004 Pilonos de Antigua S.A decide investigar la forma de reproducción vía clonal (enraizamiento de esquejes) u reproducción vegetativa para las siguientes especies de forma comercial: melina (*Gmelina arborea* Roxb), eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder). Se empezó a trabajar la reproducción vegetativa de esquejes de teca importadas de Brasil, lo cual se realizo con un alto porcentaje de enraizamiento.

Luego de forma comercial con esquejes de ciprés romano, teniendo éxito en la reproducción vegetativa y teniendo un buen porcentaje de enraizamiento. Sin embargo Pilonos de Antigua S.A no contaba con un área para la reproducción vegetativa de cualquier especie, se decidió adecuar un área húmeda con un sistema de riego nebulizado dentro de un invernadero.

Cuando se cuenta con esta área de reproducción vegetativa en el 2007, Pilonos de Antigua S.A. empezó a investigar la reproducción vegetativa de (*Gmelina arborea* Roxb), Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), teniendo poco éxito en el enraizamiento de estas especies. Utilizaron varias dosis de auxinas para promover el enraizamiento y varias metodologías para lograr un enraizamiento óptimo.

Se realizó un recorrido en donde se observó y conoció los diferentes procesos para la propagación de plantas. Se observo un área pequeña para la propagación de plantas, contaban con una cama de madera, donde se encuentran las plantas madres de la melina (*Gmelina arborea* Roxb), eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). El pino (*Pinus patula*) y pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), se encuentran en otra área en donde la temperatura es más baja y en donde las plantas madres se encuentran en macetas.

Cuentan con un invernadero de 5 metros de ancho y 18 metros de largo en donde se lleva a cabo el enraizamiento, la infraestructura del invernadero es de madera, y tiene un riego nebulizado que es accionado por un controlador digital, que es programado, dependiendo de las condiciones climatológicas. A la par de este invernadero se cuenta con un área en donde se colocan los esquejes enraizados.



Figura 2: Área de plantas madres.



Figura 3: Invernadero de enraizamiento.

1.5.2 Metodologías utilizadas para la propagación vegetativa de plantas.

Actualmente la única metodología con la que se han estado trabajando los esquejes de pino es la siguiente:

1. Se cortan los esquejes de las plantas madres posteriormente, se colocan en papel de periódico húmedo y se llevan al invernadero de enraizamiento.
2. Se les aplica una dosis de 800 ppm de ácido indolbutírico espolvoreado, a los esquejes de pino, posteriormente se siembran en un cama que contiene sustrato de arena.
3. Se realiza un monitoreo semanalmente para ver los esquejes que ya enraizaron, posteriormente son llevados a otra área para su adaptación.

1.5.3 Principales limitantes para el proceso de propagación de plantas

1. El área de propagación de vegetativa es pequeña y no se utiliza solo para la propagación vegetativa de plantas.
2. No existen suficientes plantas madres de las cuatro especies, para realizar más pruebas.
3. No existe una metodología a seguir en ninguna especie.
4. El manejo de la temperatura y humedad relativa, no se realiza de la mejor forma.
5. No existen registros sobre la temperatura del invernadero.
6. No existen áreas de adaptación para los esquejes enraizados
7. Poca información sobre el enraizamiento de estas cuatro especies forestales.

1.6 CONCLUSIONES

- a) El diagnóstico indica que la empresa Pilonos de Antigua S.A. cuenta con la infraestructura y los medios, para poder realizar la propagación vegetativa sin embargo tiene limitantes, que se pueden modificar para que el proceso sea eficiente. Existen muchas razones por las cuales la propagación vegetativa es ventajosa, el mantenimiento de clones, la propagación de plantas con semillas con problemas de germinación y la rapidez, facilidad y economía que representa la multiplicación de plantas por este método.

- b) Conforme a las limitantes del área de propagación vegetativa, el diagnóstico nos indica que se necesita mejorar detalles en el área de propagación, en los cuales están, el control de la humedad relativa y la temperatura, expandir el área de propagación y desarrollar una metodología para el enraizamiento de las especies a trabajar.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1976. Diccionario geográfico de Guatemala. Comp. Francis Gall. 2 ed. Guatemala. tomo 1, p.118-138.

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE AUXINAS PARA LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMERCIAL DE 4 ESPECIES FORESTALES: MELINA (*Gmelina arborea*), EUCALIPTO (*Eucalyptus urograndis*), PINO (*Pinus patula*) Y PINABETE(*Abies guatemalensis*).

AUXINS EVALUATION OF STRENGTHS FOR VEGETATIVE PROPAGATION OF 4 COMMERCIAL FOREST SPECIES: MELINA (*Gmelina arborea*), EUCALIPTUS (*Eucalyptus urograndis*), PINE (*Pinus patula*) AND FIR (*Abies guatemalensis*).

2.1 PRESENTACIÓN

El principal problema para la propagación por semillas de varias especies forestales es la germinación, puede ser deficiente o nula, por la estructura morfológica que la misma posee o por problemas de pérdida de viabilidad.

Actualmente se reconoce que alternativamente a los programas tradicionales de producción y uso de semillas, la propagación vegetativa, la propagación clonal ofrece un medio para la obtención de amplias ganancias genéticas en períodos muy cortos, además de contribuir a la conservación de genotipos únicos de valor actual o potencial.

Entre las ventajas significativas que ofrece la propagación vegetativa se destaca la capacidad de explorar tanto los componentes aditivos como los no aditivos. Los beneficios de la propagación vegetativa de estas especies, es necesario adaptar o desarrollar nuevas tecnologías de propagación, eficientes pero económicas y simples.

El efecto biológico que tienen las auxinas son: la estimulación de la división celular, inicio de la formación de raíces de varias especies, inducción de la floración, inducción del amarre de frutos y desarrollo de frutos jóvenes, entre otros. El regulador de crecimiento más utilizado para estimular el enraizamiento de esquejes es el ácido indolbutírico (Weaver, R. 1985).

La importancia de los esquejes o clones de estas especies melina (*Gmelina arborea* Roxb), Eucalipto (*Eucaliptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) se pueden propagar plantas de las mismas en poco tiempo y con características deseadas.

En esta investigación se evaluó el enraizamiento de esquejes de melina, eucalipto, pino y pinabete utilizando diferentes concentraciones de auxinas para promover el enraizamiento. Se estableció un procedimiento para la propagación vegetativa del eucalipto, melina, pino y pinabete. Después del corte de los brotes o esquejes de las plantas madres de cada una

de las especies forestales, se siembran y luego se llevan al invernadero de enraizamiento en donde se brindan las condiciones necesarias para obtener un enraizamiento exitoso.

El tiempo que los esquejes o brotes permanecen en el invernadero desde el día del corte y la siembra va de 30 a 35 días donde emiten sus raíces. Luego de esta etapa se trasladan los esquejes enraizados a otra fase en donde se lleva la aclimatación antes de ser llevados a campo.

Se realizó un diseño factorial con arreglo combinatorio, con diseño de bloques completos al azar, en donde la variable de respuesta fue el peso seco de las raíces, en donde se le realizó un análisis de varianza (ANDEVA), el resultado fué que las concentraciones de auxinas utilizadas 4,000 ppm, 6,000 ppm y 8,000 ppm de ácido indolbutírico no provocó diferencia significativa, contrariamente si hubo diferencia significativa, en las especies forestales, eucalipto, melina, pino y pinabete, se realizó la prueba de medias, el eucalipto presento 4.2 %, la melina 3.74 %, siendo estos porcentajes altos en materia seca . El pino presentó 2.08 % y pinabete 1.68% ambos presentaron porcentaje de materia seca bajos.

En la variable de respuesta de longitudes de raíces, las concentraciones de auxinas no provocaron diferencia significativa, sin embargo las medias de las longitudes de raíces tuvieron diferencia significativa en función de la especie con la mayor longitud de raíces, se obtuvo en el eucalipto con 12.46 cm, la melina con 8.62 cm, el pino con 3.6 cm y el pinabete 1.18 cm.

Los resultados obtenidos en esta investigación, permitirán desarrollar programas de propagación de plantas para su comercialización, conservando características genéticas deseadas o el desarrollo de programas de mejoramiento genético forestal.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Descripción del material experimental

A. *Gmelina arborea* Roxb

Especie nativa del Sureste asiático, la melina es hoy por hoy, una de las especies más promisorias para usarse en diferentes procesos industriales y en programas de reforestación; en los que por su rápido crecimiento es fuente segura de materia prima (USAID 1984).

Su distribución natural abarca el Nordeste de Pakistán hasta el Sudeste de Camboya, India, Sri Lanka y el Sur de China; en donde se conoce por los nombres comunes de so, so-maeo, kumhar, sewan, gumadi, shiva o shivani (USAID 1984).

En África tropical, Centro y Sur América ha sido introducida con éxito en países como Costa Rica, Guatemala, Colombia, Brasil, Venezuela, Trinidad, Cuba y Belice; en donde recibe los nombres de gmelina, gemelina, melina, yemane, gumhar, gamar o teca blanca. En Europa es conocida como ashmir tree, malay beechwood o snapdragon y como white teak en Inglaterra, mai saw o yemani en Birmania y le peuplier d'Afrique en Francia (FONAFIFO 2000).

La altitud media para su desarrollo es de 535.7 msnm, mínima 0 msnm y máxima 1500 msnm (Fierros, A; Noguéz, A, Velasco, E. 1999).

a. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica es la siguiente:

Dominio: ***Eucariota***
 Reino: ***Plantae***
 División: ***Magnoliophyta***
 Clase: ***Magnoliopsida***
 Orden: ***Lamiales***

Familia: **Vervenaceae**
Género: **Gmelina**
Especie: **Gmelina arbórea Roxb.**
Nombre común: **melina**

b. Descripción botánica

La *Gmelina arborea* es una especie de rápido crecimiento, se clasifica como una pionera de vida larga. Su capacidad de rebrote es excelente y los brotes presentan un crecimiento rápido y vigoroso. Es caducifolia, en las zonas secas, puede llegar a medir 30 m de altura y presentar más de 80 cm de diámetro. Crece usualmente con un fuste limpio desde 6 hasta 9 m y con una copa cónica (FONAFIFO 2000).

Copa: Presenta una copa amplia en sitios abiertos, pero en plantación su copa es densa y compacta (FONAFIFO 2000).

Corteza: lisa o escamosa, de marrón pálida a grisácea; en árboles de 6-8 años de edad se exfolia en la parte engrosada de la base del tronco y aparece una nueva corteza, de color más pálido y lisa (FONAFIFO 2000).

Raíz: Presenta un sistema radical profundo, aunque puede ser superficial en suelos con capas endurecidas u otros limitantes de profundidad (FONAFIFO 2000).

Fuste: Tiene un fuste marcadamente cónico, por lo regular de 50-80 cm de diámetro, en ocasiones hasta de 143 cm, sin contrafuertes pero en ocasiones engrosado en la base (FONAFIFO 2000).

Hojas: Grandes (10-20 cm de largo), simples, opuestas, enteras, dentadas, usualmente más o menos acorazonadas, de 10-25 cm de largo y 5-18 cm de

ancho, decoloradas, el haz verde y glabra, el envés verde pálido y aterciopelado, nerviación reticulada, con nervios secundarios entre 3 y 6 pares y estípulas ausentes.

Usualmente, la especie bota las hojas durante los meses de enero o febrero en casi todas las regiones donde se cultiva. Las hojas nuevas se producen el marzo o a principios de abril (FONAFIFO 2000).

Flores: Numerosas, amarillo-anaranjadas, en racimos, monoicas perfectas, cuya inflorescencia es un racimo o panícula cimosa terminal, cáliz tubular, corola con 4-5 sépalos soldados a la base del ovario, de color amarillo brillante, cáliz 2.5 cm de largo y 4 estambres (FONAFIFO 2000).

La floración ocurre justo cuando las hojas han caído o cuando las nuevas hojas comienzan a desarrollarse. En su área de distribución natural la melina florece los meses de febrero abril (FONAFIFO 2000).

En Centroamérica la floración se presenta, usualmente, entre diciembre y febrero pero en general, en América tropical florece de febrero a marzo, prolongándose en ocasiones hasta abril (FONAFIFO 2000).

La *Gmelina arborea* Roxb, inicia su época de floración y fructificación entre los 6-8 años, sin embargo en algunas plantaciones en Costa Rica florece a partir del tercer año (FONAFIFO 2000).

Frutos: Es un fruto carnoso tipo drupa, de forma ovoide u oblonga, carnoso, succulento, con pericarpo coriáceo y endocarpo óseo, de color verde lustroso, tornándose amarillo brillante al madurar, momento en el que caen al suelo, lo que facilita su recolección (FONAFIFO 2000).

Entre los frutos caídos naturalmente del árbol, los más indicados de recolectar son los de color verde amarillento, debido a que tienen el mayor porcentaje de germinación (FONAFIFO 2000).

Semillas: Las semillas de esta especie se encuentran formando parte del endocarpo del fruto, son de forma elipsoidal, comprimidas, de 7-9 mm de largo; testa color café, lisa, opaca, membranosa, muy delgada; el embrión es recto, comprimido, de color amarillo-crema y ocupa toda la cavidad de la semilla; los cotiledones son dos, grandes, planos, carnosos y elipsoidales; la radícula es inferior y corta (FONAFIFO 2000).

c. Características y propiedades de la madera

La madera presenta un color amarillento pálido, en ocasiones con tonalidades blancas, amarillas, cremas y rosadas. Existe poca diferenciación entre albura y duramen, lo que hace que el color sea uniforme.

La madera de *Gmelina arborea* Roxb es relativamente liviana con una densidad de 420–640 kg por m³ y un valor calorífico de 4800 kcal por kg (FONAFIFO 2000).

B. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)

a. Clasificación taxonómica

Dominio:	<i>Eucariota</i>
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magniolofitas</i>
Clase:	<i>Magnoliopsidas</i>
Orden:	<i>Mirtales</i>
Familia:	<i>Myrtaceae</i>
Género:	<i>Eucalyptus</i>

Especie: ***Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis***

Nombre común: **Eucalipto urograndis**

b. Descripción botánica

Árbol que alcanza de 20 m o más de altura y hasta 2 m de diámetro. Cuando está aislado puede desarrollar una copa globosa y el follaje, las ramas colgantes son permeables a la luz. La corteza es caduca a la mitad del tronco, desprendiéndose anualmente en placas combadas más o menos largas y extensas. La madera adulta presenta un color rojo caoba, con albura de color blanco amarillento, es medianamente pesada y dura, muy pulida y con anillos anuales no muy diferenciado (USAID 1984).

Las hojas son opuestas inicialmente y transformándose después en alternas; peciódadas, lanceoladas, glabras, verde mate, ligeramente glaucas, pasando a menudo al rojo; las hojas adultas son alternas de color verde mate en ambas caras y con pecíolos de 1 a 3 cm, miden por lo regular de 12 a 22 cm de largo por 0,8 a 1,5 cm de ancho, pinatinervias e irregularmente anastomosadas (USAID 1984).

La inflorescencia se dispone en umbelas axilares, de 5 a 10 flores, con pedúnculo cilíndrico, de 10 a 15 cm de longitud.

El fruto es una cápsula hemisférica, con pedicelo fino, o anchamente turbinado y coronado por un disco bien prominente, el conjunto puede medir de 5 a 6 mm de diámetro y de 7 a 8 mm de altura, con 3 a 5 valvas triangulares exsertas.

Las semillas son pequeñas de color claro, amarillo dorado, poliédricas, con ángulos muy marcados y menos de 1 mm de diámetro medio, las semillas estériles son más oscuras y angostas (USAID 1984).

c. Características y propiedades de la madera

La madera es moderadamente densa (0,6 g/cm³). Tiene un gran potencial como leña. Cuando la madera está completamente seca constituye un combustible excelente. Tiene un poder calórico de aproximadamente 20.000 kJ/kg (4.800 kcal/kg). Produce carbón de excelente calidad (USAID 1984).

C. Pino (*Pinus patula*)

Es un árbol nativo del nuevo mundo. Parece que fue la especie progenitora (original) que sirvió de ancestro para algunas de las especies de pinos de México (Vela, G. 1980).

Se encuentra desde el estado de Chihuahua, México, y Guatemala a las más altas elevaciones de Honduras, El Salvador y Noroeste de Nicaragua. Entre 900-2400 m sobre el nivel del mar (Vela, G. 1980).

a. Clasificación taxonómica

Domino: ***Eucariota***
 Reino: ***Plantae***
 División: ***Spermatophyta***
 Clase: ***Coniferae***
 Orden: ***Pinales***
 Familia: ***Pinaceae***
 Género: ***Pinus***
 Especie: ***Pinus patula***
 Nombre común: **Pino**

b. Descripción botánica

Árbol de 30 a 35 m de altura y de 50 a 90 cm de diámetro normal. Su copa es abierta y redondeada, tronco recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m, con una raíz profunda y poco extendida. Es de rápido crecimiento, 20 m³/ha. El crecimiento se detiene sensiblemente entre los 30 y 35 años de edad (Vela, G. 1980).

Hojas: perennifolia, el renuevo de hojas ocurre en dos períodos, en febrero brotan las hojas del primer internudo (maduran en marzo), en mayo comienza la aparición de nuevas hojas en el segundo internudo (maduran en junio), al tiempo que caen las formadas al inicio del año.

Flores: las flores masculinas y femeninas ocurren separadamente en la misma planta. Los conos masculinos (estaminados) son de color amarillo y ocurren abundantemente en racimos en vástagos nuevos, usualmente en la región inferior de la copa. Los conos femeninos (pistilados) son de color purpúreo, tienen espinas deciduas y aparecen de manera solitaria o en grupos, por lo general lateralmente pero rara vez en posición sub-terminal, y en la región superior de la copa (Vela, G. 1980).

Fruto: los conos maduros son cónicos y largos, ahusándose hacia el ápice, por lo general sésiles pero rara vez sub-sésiles, con un reflejo asimétrico, ligeramente curvos, de un color lustroso que va de gris a marrón, apareciendo en grupos de tres a seis, con una longitud de 4 a 12 cm y un ancho de 2.5 a 4 cm. Las escamas de los conos son duras, de 2 cm de largo por 1 cm de ancho, una apófisis romboide, planas y ligeramente protuberantes, de color pardo oscuro y con espinas deciduas (Vela, G. 1980).

Semillas: son de tamaño pequeño (3 mm), de color de marrón claro a negro y con alas de color marrón de 13 mm de largo (Vela, G. 1980).

c. Características y propiedades de la madera

No existe literatura sobre las cualidades de la madera del pino pátula en su área de distribución natural. Las propiedades físicas y mecánicas del pino pátula cultivado en plantaciones en el Sur de Africa son: peso específico de entre 0.40 a 0.52 con un contenido de humedad del 12 por ciento; módulo de ruptura, 41 a 83 Newtons por mm; módulo de elasticidad, de 5,860 a 9,660 Newtons por mm; compresión a lo largo del plano axial, de 29.4 a 44.8 Newtons por mm; dureza

lateral (método janka), de 1,352 a 2,523 Newtons; hendidura radial y tangencial, de 8.0 a 10.5 mm y 12.2 y 13.3 mm, respectivamente, y la contracción radial, tangencial y volumétrica de 2.8 a 4.1 por ciento, de 3.9 a 8.8 por ciento y de 7.3 a 13.9 por ciento, respectivamente (Chudnoff, M. 1984, Wormald, T.J. 1975).

d. Usos de la madera

El pino patúla ha sido plantado por lo general como una especie industrial de crecimiento acelerado y alto rendimiento. La madera es de menor densidad y fortaleza que muchas coníferas de áreas templadas, pero es adecuada para la construcción general. La madera es de color blanco a blanco amarillenta, con un duramen rosáceo y posee a menudo un fuerte contraste entre la madera más temprana de color claro y la madera tardía más oscura. La fortaleza y la densidad de la madera aumentan de manera marcada del centro hacia afuera, de manera que la madera exterior es apropiada para trabajos estructurales generales, mientras que la madera juvenil interior es más apropiada para la manufactura de cajas y contenedores grandes, tablillas para el techado y ensambladura de bajo costo. La madera se puede tratar con facilidad, es relativamente no-resinosa y con poco olor, y es apropiada tanto para los tableros de partículas como pulpa (Chudnoff, M. 1984, Wormald, T.J. 1975).

D. Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder)

Se distribuye naturalmente desde el Sur de México en algunos sitios de El Salvador y Honduras y en Guatemala en los departamentos de Huehuetenango, Sololá, Totonicapán, Quetzaltenango, San Marcos, Jalapa, Quiche y en El Progreso (sierra de las Minas) (INAB 2000).

Esta especie se conoce con los nombres comunes de pinabete y pashaque, pertenece a la familia *Pinaceae*. Es un árbol de hasta 50 metros de altura y de 1.6 metros de diámetro. Sus semillas son aladas de color café pálido, cuneadas, ovoides, de 8 a 10 mm de diámetro y de 1 hasta 1.5 cm de largo (García Rodríguez, G. 1989).

a. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica es la siguiente:

Dominio: ***Eucariota***
Reino: ***Plantae***
Subreino: ***Embryobionta***
División: ***Pinophyta***
Clase: ***Pinicae***
Subclase: ***Pinopsida***
Orden: ***Pinales.***
Familia: ***Pinaceae***
Género: ***Abies***
Especie: ***Abies guatemalensis***
Nombre común: **Pinabete**

b. Descripción botánica

Conífera de hoja perenne con el tronco generalmente fuerte y recto que alcanza una altura de 45 metros. La copa es piramidal, en los ejemplares jóvenes de manera regular y más aplanada en los ejemplares adultos. Es una especie monoica (CONAP 1999).

Ramas: Las ramas principales están dispuestas casi horizontalmente. En los ejemplares que crecen libremente el tronco está ramificado desde la base. En la copa las ramas se mantienen erguidas. Ramitas jóvenes peludas y brotes algo brillantes (CONAP 1999).

Corteza: La corteza oscura es lisa, de color gris, adquiriendo con la edad algunas grietas con vejigas resinosas.

Hojas: aciculares, de hasta 3 o 4 cm de longitud y 2 mm de ancho, romas en la punta, con un eje transversal y una línea de color claro en numerosos puntos y dispuestas en dos hileras (CONAP 1999).

Conos: De color azulado, ovalados y resinosos. Los conos masculinos tienen hojas escuamiformes en su parte interior.

Los femeninos generalmente de unos 10 cm, erguidos, cilíndricos, insertados en el eje. Orientados hacia lo alto cuando están a punto de ser polinizados, en un principio de color azulado, mas tarde de color pardo rojizo y maduros, de color pardo más claro (CONAP 1999).

Semillas: De 8 a 10 milímetros de color castaño claro provistas de un ala membranosa de hasta 15 mm largo. Fructifica en octubre. Se puede coleccionar entre diciembre y enero (CONAP 1999).

Flores: unisexuales, la femenina de color rojo o purpura.

c. Características y propiedades de la madera

El pinabete es una especie en peligro de extinción debido principalmente a su posicionamiento como árbol ideal para la época navideña. De continuarse con los actuales niveles de extracción las probabilidades de que esta especie pueda permanecer en el tiempo son bastante remotas (CONAP 1999).

Según García Rodríguez, G. (1989) los usos actuales se usa para forros de interiores, techos de construcciones rurales y urbanas, producción de oleorresina (aceite de pinabete) tiene propiedades balsámicas por lo que se usa en la medicina y en la industria de madera; además es utilizado como adorno navideño.

Se requiere aproximadamente 30 kg de frutos para obtener un kg de semilla pura, por lo que indica que claramente la importancia que representa mejorar la eficiencia en cuanto a incrementar los volúmenes de cosecha o su propagación asexual (INAB 2000).

2.2.2. PROPAGACIÓN VEGETATIVA

Según Hartmann, HT. Kesler, DE. (1998) esto se puede lograr debido a que todas las células poseen toda la información genética necesaria para regenerar el organismo completo. Al poseer la misma información genética, la planta originada va a tener las mismas características que la planta de la cual fue tomada, ya que de acuerdo Mesén, F.(1998) se duplica exactamente su genotipo, se mantiene en la misma condición fisiológica y genética del árbol padre en la parte propagada.

A. Propagación por medio de estacas

Para propagar una planta por medio de estacas; se corta una porción de tallo, raíz u hoja de la planta madre, se coloca en condiciones favorables y se induce a la formación de raíces y brotes (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

Las estacas se pueden clasificar de acuerdo a la parte de la planta de donde proceden, así que puede haber estacas de tallo, de hoja, y yema, y de raíz (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

Hartmann, HT. Kesler, DE. (1998) afirma que las estacas de tallo son el tipo más importante y pueden clasificarse según la naturaleza de la madera que las forman de la siguiente manera: madera dura, madera semidura, madera suave y herbácea.

B. Desarrollo de raíces en estacas de tallos

a. Formación de raíces adventicias

Este tipo de raíces se origina en el tejido del xilema secundario joven. Pueden ser de dos tipos, raíces preformadas y raíces de lesiones; las primeras están en los tallos o ramas cuando aún están adheridas a la planta madre y se vuelven latentes cuando se cortan las estacas y se ponen en condiciones favorables; las segundas se desarrollan solo después de haber hecho la estaca (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

Al hacer una estaca, las células quedan expuestas y se da un proceso de cicatrización, formándose una capa de suberina que protege al resto de células, luego estas células se empiezan a dividir y forman el callo; por último, por procesos de desdiferenciación, empiezan a formarse las raíces adventicias (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

Por lo general, el origen y desarrollo de las raíces adventicias es dentro del tallo, cerca del cilindro vascular, fuera del cámbium; se mantienen en reposo hasta que se hace las estacas y se colocan en condiciones ambientales favorables. Por ejemplo el *Populus sp.* se forma en el tallo a mediados del verano y luego emergen de las estacas hechas en primavera siguiente (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

Hartmann, HT. Kesler, DE. (1998) afirman que la formación de raíces adventicias puede depender de ciertos factores inherentes no translocables, determinados por el genotipo de las células individuales del tejido. Aunque es probable que para establecer condiciones que favorezcan la iniciación de raíces existan interacciones entre ciertos factores fijos no móviles situados dentro de las células; podrían ser ciertas enzimas y nutrientes fácilmente conducibles y factores endógenos del enraizamiento.

b. Formación del callo

De acuerdo a Hartmann, HT. Kesler, DE. (1998), “el callo es una masa irregular de células de parénquima en varios estados de lignificación”. Este se origina en las células jóvenes del cambium vascular y el floema adyacente, pero también puede contribuir a su formación, células de la corteza y de la médula. Se cree que a partir del callo se empieza a formar las raíces, por lo que al haber callo, se está asegurando que la estaca empezara a enraizar.

C. Proceso del enraizamiento

De acuerdo a Hartmann, HT. Kesler, DE. (1998) el enraizamiento es el desarrollo de las raíces cuya formación está influida por factores fisiológicos, bioquímicos y anatómicos y por las relaciones existentes entre ellos, en las estacas de tallo la mayoría de las raíces adventicias se originan en partes y formas diferentes de las normales. Se inicia con la división celular, seguida por el desarrollo de grupos de células en división hasta formar un meristemo apical de la raíz. Esta raíz perfora la salida a través de las capas superficiales de células, hasta salir a superficie.

Según Leakey, RRB. Mesén, F. (1991) el proceso del enraizamiento de estacas de especies leñosas es complejo debido a los diversos factores que influyen la capacidad de enraizamiento, sin embargo puede considerarse simple en el momento que se encuentre un método básico que logre facilitar el proceso del enraizamiento.

D. Factores que influyen en el enraizamiento

a. Factores endógenos

i. Edad de la planta madre y de la estaca

Es un factor muy importante en plantas de difícil enraizamiento. Las estacas tomadas de plantas jóvenes tienen más capacidad de formación de raíces

adventicias que las tomadas de plantas viejas, esto se debe a la diferencia fisiológica entre plántula y una planta madura. La condición inmadura llamada juvenilidad es importante en la propagación. Los brotes juveniles enraízan más rápido. Las plantas madres al momento de cortar las estacas deben estar en estado activo de crecimiento y no de floración, para que se encuentre en su máxima capacidad regeneradora (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

ii. Nutrición de la planta patrón

El estado nutricional de la planta madre tiene gran influencia en el desarrollo de raíces y ramas en las estacas separadas de ella. Es muy importante la concentración de carbohidratos o almidones seguidos de la presencia de nitrógeno, potasio y zinc. Entre las plantas progenitoras el equilibrio entre el contenido bajo de nitrógeno y alto en carbohidratos, puede favorecer el enraizamiento (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

iii. Niveles de auxina

Las auxinas se sintetizan en hojas y yemas, estas sustancias en las células jóvenes no diferenciadas, provocan la síntesis de ácido ribonucleico que interviene en la iniciación de primordios de raíces adventicias del tallo (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

iv. Posición de la estaca en la planta madre

Las estacas pueden tomarse de ramas laterales o terminales suculentas, siendo mejores las primeras, debido a que ya ha disminuido el crecimiento rápido y han acumulado carbohidratos.

Las estacas pueden separarse de diferentes regiones de las ramas, cuya composición química varía de la base a la punta, incrementándose el contenido de nitrógeno y disminuyendo el contenido de carbohidratos.

Generalmente enraízan mejor las estacas tomadas de las partes basales de la rama debido a las altas reservas de carbohidratos, en otros casos son mejores las estacas terminales, pues producen sustancias endógenas promotoras de enraizamiento, o hay menor diferenciación, facilitándole a las células volverse meristemáticas (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

v. Cofactores de enraizamiento

Existen sustancias específicas formadoras de raíces como las rizocalinas presentes en las hojas, yemas y cotiledones; éstas son requeridas al igual que los terpenoides oxigenados y otras sustancias no identificadas aún, para la iniciación y desarrollo radicular (Bidwell, RGS. 1990).

b. Factores exógenos

i. Condiciones ambientales

Los requerimientos de cada especie, el ambiente bajo el cual se desarrollan las estacas va a ser variable en cuanto a los siguientes factores:
Humedad: las estacas necesitan cierto nivel de humedad para vivir. En estacas con hojas, el enraizamiento se ve estimulado pero la pérdida de agua a través de ellas puede disminuir el contenido de agua en las estacas, las cuales llegan a morir por desecación antes de formar raíces (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

Temperatura: la temperatura puede regular la producción de raíces, que debe desarrollarse antes del crecimiento del tallo y desarrollo de las yemas, recomendándose temperaturas mayores para la base de la estaca y menores para la etapa terminal.

Luz: es un factor importante pues las estacas con hoja elaboran productos fotosintéticos importantes para la iniciación y el crecimiento de raíces,

requiriendo intensidad y longitud de luz suficientes para producir carbohidratos, los que serán utilizados después. Las estacas de madera dura sin hojas dependen de los carbohidratos almacenados. Si las necesidades de auxinas son satisfechas externamente, la presencia de luz parece tener un efecto inhibitorio sobre la iniciación de las raíces (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

ii. Tratamiento con reguladores de crecimiento

La aplicación de reguladores de crecimiento influye en la calidad y cantidad de enraizamiento y el tiempo y la uniformidad del mismo. De los materiales químicos sintéticos, el más recomendable para la producción de raíces es el ácido indolbutírico.

iii. Sustrato

En las plantas que enraízan con dificultad el medio puede tener una gran influencia tanto en el porcentaje de enraizamiento como en la calidad del sistema radicular que se forme. Existe una serie de factores a considerar entre los que se encuentra:

Porosidad: en el medio debe existir suficiente porosidad que permita una buena aireación y una alta capacidad de retención de agua al igual que un buen drenaje.

Sanidad: el medio debe de estar libre de enfermedades e insectos, para estacas tiernas de madera suave. Por las estacas de madera semidura debe estar libre de hongos y bacterias.

Oxígeno: para la producción de raíces es esencial de oxígeno, en el medio, aunque su requerimiento varía en función de la especie (Hartmann, HT. Kesler, DE. 1998).

2.2.3. Reguladores de crecimiento

A. Términos generales

Weaver, R. (1985) define a los reguladores de crecimiento como “compuestos orgánicos (diferentes de los nutrientes) que en pequeñas cantidades, fomentan, inhiben o modifican de alguna otra forma cualquier proceso fisiológico vegetal”.

Dentro de los reguladores de crecimiento se encuentran las auxinas, las giberelinas las citoquininas y los inhibidores ABA (ácido abscísico).

a. Auxinas

Según Weaver, R. (1985), se le llama auxinas al grupo de compuestos que se caracterizan por tener capacidad de inducir la extensión de las células de los brotes. Para Hartmann, HT. Kesler, DE. (1998) las auxinas tienen varias ventajas al ser aplicadas a estacas: aceleran su iniciación y aumentan la uniformidad del enraizamiento.

Las auxinas pueden ser naturales, ya que son producidas por la misma planta, tal es el caso del AIA (ácido indolacético), detectado en varios tejidos vegetales, y el IAN (indolacetonitrilo) extraído de hojas y tallos de plantas superiores de crecimiento rápido; también pueden ser sintéticas, y entre estas están el IBA (ácido indolbutírico) (Weaver, R. 1985).

i. Efectos biológicos de las auxinas

Los efectos biológicos más importantes que tienen las auxinas son: la estimulación de la división celular, inicio de la formación de raíces de varias especies, inicio de la floración, inducción del amarre de frutos y desarrollo de frutos jóvenes, entre otros (Weaver, R. 1985).

ii. Mecanismos de acción de las auxinas

Las auxinas incrementan la flexibilidad de las paredes celulares con lo cual se pierde la presión de turgencia de la célula. Al perderse la presión de turgencia, el agua ingresa al interior de la célula y de esta manera la misma se expande (Weaver, R. 1985).

B. Utilización de reguladores de crecimiento para estimular el enraizamiento

Según Weaver, R. (1985), las auxinas son los reguladores de crecimiento más usados para estimular el enraizamiento de las plantas. Dentro de las auxinas sintéticas se conocen dos productos como los que proporcionan mejores resultados estos son: ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA).

El ácido indolbutírico es un compuesto persistente que se retiene cerca del sitio de aplicación ya que se desplaza muy poco y por lo cual es muy efectivo.

C. Métodos de aplicación de reguladores de crecimiento

Según Weaver, R. (1985), describe tres métodos para aplicar los reguladores de crecimiento a las estacas y que son los únicos que actualmente se han utilizado en forma amplia y práctica, estos son: la inmersión rápida, el remojo prolongado y el espolvoreado.

a. Método de espolvoreado

Este método consiste en mezclar un producto con algún polvo fino inerte (talco) según la concentración a aplicar, que varía de 200 a 5,000 ppm (dependiendo del tipo de madera de la estaca). El polvo se aplica en el área basal humedecida con agua, de las estacas y luego se coloca en el medio de

enraizamiento. Una de las desventajas de este método es que el polvo se puede desprender de la estaca al insertarla en el sustrato y además que el exceso de polvo en el área basal puede ocasionar toxicidad (Weaver, R. 1985).

b. Método de inmersión rápida

Según Weaver, R. (1985), consiste en sumergir durante 5 segundos los extremos basales de las estacas en una solución concentrada (500 – 10,000 ppm) del producto químico en alcohol isopropílico al 75%. Una vez absorbido el producto, las estacas se colocan en el medio de enraizamiento. Es un método ventajoso porque requiere de menos equipo que en los otros dos métodos y que la misma solución puede usarse repetidas veces siempre y cuando sellen herméticamente para evitar la evaporación del alcohol.

2.2.4 Trabajos realizados sobre la propagación vegetativa en especies forestales

Pérez Irungaray, J. (1999), trabajó en Guatemala sobre la propagación vegetativa de teca (*Tectona grandis* L.), concluyó que, el diámetro de la estaca no influye en el desarrollo de raíces en las estacas de teca (*Tectona grandis* L.), Chichique (*Angiosperma megalocarpon* Muell.-Arg), palo blanco (*Cydistax donnell-smithii* (Rose) Seibert) y matilisqueate (*Tabebuina rosea* (Bertol.) DC.). Evaluó la presencia de callo en la estaca, presencia de brotes en la estaca, concluyendo que la aplicación de ácido indolbutírico en concentraciones de 3000 y 5000 ppm para el método de inmersión rápida son las que mejor resultados obtuvieron, y 1000, 2000 y 3000 ppm para el método espolvoreado.

Pérez, H. (1997), trabajó en Guatemala sobre la capacidad de enraizamiento de dos especies arbóreas, sauco (*Sambucus mexicana* Presl) y sauce (*Salix* spp.) con fines de utilización en sistemas agroforestales, concluyendo que el sustrato

compuesto mas la aplicación del enraizador fue el tratamiento que propició las mejores condiciones para la formación de tejido radicular.

En trabajos realizados en el CATIE Díaz, ERA. Salazar, R. Mesen, F.(1991 y 1992), Leakey (1990, 1992 y 1996); Mesen, F.(1993), Mesen y Trejos 1998, Núñez (1997), la concentración de 0.2 % de AIB proporciono los mejores resultados en *A. acuminata*, *B. quinata*, *Cedrela odorata*, *E. deglupta*, *G. arborea* y *S. macrophylla*. Con *Platyumiscium pinnatum*, las dosis de 0.2% y 0.4% de AIB fueron mejores cuando se utilizó grava o arena como sustrato, respectivamente. Algunas especies respondieron mejor ante dosis mayores, por ejemplo *Terminalia oblonga*, (0.8%), *C. alliodora* (0.8% - 1.6%) y *Hyeronima alchorneoides* (1.6%), mientras que *A. guachapele* enraizó igualmente bien con concentraciones desde 0.05% hasta 0.4% de AIB. Contraria a todas las demás especies evaluadas. *V. guatemalensis* presentó los mayores porcentajes de enraizamiento cuando no se aplicó auxina, aunque el número de raíces producidas en las estacas aumentó con dosis crecientes de AIB desde 0% hasta 0.8%; la concentración de 0.2% presentó el mejor balance entre enraizamiento y calidad del sistema radical formado. Con estos resultados se puede tener idea del tipo de rango de dosis que podrían ser evaluadas cuando se vaya a iniciar la propagación de una especie nueva.

Según Olman Murillo, Rojas J. Badilla. (2003). las estacas se sacan de la solución de desinfección y se dejan escurrir para eliminar el exceso de agua. Se prepara entonces un recipiente con el enraizador que puede ser el ácido indolbutírico (para la *Tectona grandis*, *Hieronyama alchorneoides*, *Ulmus mexicana* y *Voschysia* spp.) que viene preparado en forma comercial en una dosis de un 1% o 10,000 ppm de AIB (ácido indol-butírico). Otras especies no toleran una dosis tan alta y requieren no más de 0.2% ó 2000 ppm (*Eucalytus* Spp. *Cupressus lusitánica*, *Alnus acuminata* entre otras). En estos casos deberá buscarse un producto comercial que indique una dosis baja o conseguirse AIB puro y prepararse en estas dosis (diluido en alcohol). En el pellet o la bandeja se procede hacer un hoyo donde se sembrará la estaca. Se introduce entonces la

base de la estaca en el enraizador hasta lograr que el polvo blanco se adhiera. La estaca se sacude ligeramente para eliminar el exceso de enraizador y se siembra directamente en el hoyo hecho en el pellet o la bandeja. Una vez sembradas todas las estacas se deben mojar ligeramente con el sistema de riego que se esté utilizando. Se puede conseguir en el mercado un estimulante para el enraizamiento que viene en una presentación líquida (combina el AIB con el ácido naftalinacético o ANA) y se puede aplicar el producto directamente a los pellets previo a la siembra, incluso al agua con la que se mojan y hacen crecer los pellets.

Mesén, F. Newton, AC. Leakey, RRB. (1997), trabajaron en Costa Rica sobre la propagación vegetativa de *Cordia alliodora*. La investigación consistió en tres experimentos donde evaluaron en cada uno: concentración de IBA (0%,0.2%, 0.4%, 0.8% y 1.6%) disuelto en una solución de metanol, sustratos (aserrín, arena fina y grava gruesa), diferentes tipos de corte; para los últimos dos experimentos, la concentración usada de AIB fue de 1.6%. Usaron estacas de hoja, las cuales consistieron en cortes de peciolo de una longitud de 5 cm. Las variables evaluadas fueron porcentaje de enraizamiento y número de raíces. De las concentraciones de AIB evaluadas, la mejor fue de 1.6%, ya que fue la que mayor número de raíces produjo; aunque con respecto al porcentaje de enraizamiento, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos de 0.8% y 1.6%. los mejores sustratos fueron los de grava y arena en ambos no hubo diferencia con respecto al porcentaje de enraizamiento y al número de raíces. En los últimos dos experimentos se pudo observar que si hubo respuesta de las estacas al enraizamiento al aplicarles la concentración de 1.6% de AIB.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general:

- Establecer un procedimiento para la propagación vegetativa de cuatro especies forestales.

2.3.2 Objetivo específico:

1. Establecer la concentración de auxinas que promueva el enraizamiento adecuado de los esquejes de melina, eucalipto, pino y pinabete.
2. Determinar las concentraciones de auxinas que induzcan, la mayor longitud de raíces.
3. Determinar los días óptimos para llevar los esquejes a campo en las cuatro especies.

2.4 HIPOTESIS

- Al menos una de las concentraciones de auxinas a evaluar presentará mejores resultados de enraizamiento para cada una de las especies forestales: melina, eucalipto, pino, pinabete.

2.5 METODOLOGÍA

2.5.1 Sitio experimental

La investigación se llevó a cabo dentro de un invernadero del área de propagación vegetativa, en la empresa “Pilonos de Antigua S.A.” ubicada en la Finca La Azoteita, carretera a Jocotenango.

2.5.2 Materiales

- Plantas madres de melina, eucalipto, pino y pinabete.
- Ácido indobutírico, técnico 97%.
- Tijeras de podar.
- Sustrato.
- Atomizador.
- Bandejas.
- Tubetes 200 cc.
- Estacas de identificación.
- Recipiente plástico de 2 lts.
- Agua destilada.
- Alcohol isopropílico al 75%.

2.5.3 Metodología experimental

A. Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial con arreglo combinatorio, con diseño de bloques completos al azar. Se utilizó este diseño, debido a que se realizó a cabo bajo condiciones de invernadero.

Las distribuciones de bloques completamente al azar se realizaron con cuatro tratamientos y 10 repeticiones, para un total de 160 unidades experimentales.

B. Tratamientos

Los tratamientos que se evaluaron son los siguientes:

Cuadro 1. Tratamientos del diseño experimental

Factor A		Factor B	
Especies		Concentraciones	
A1	Eucalipto	B1	6,000ppm
A2	Melina	B2	8,000ppm
A3	Pino	B3	10,000ppm
A4	Pinabete	B4	Testigo

C. Modelo estadístico

El modelo que se describe corresponde a un experimento bifactorial, con arreglo combinatorio dispuesto en un diseño en bloques completos al azar.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \beta_k + \epsilon_{ij}$$

Siendo:

Y_{ijk} = variable de respuesta asociada a la ijk -ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general.

A_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor "A" (especies).

B_j = Efecto del J -ésimo nivel del factor "B" (concentraciones).

AB_{ij} = Interacción del i – ésimo nivel del factor "A" con el j – ésimo nivel del factor "B".

B_k = Efecto del K – ésimo bloque

D. Unidad experimental

En la evaluación se utilizó como unidad experimental tubetes plásticos que tienen capacidad de 200 cc . Los tubetes tienen capacidad para un esqueje.

2.5.4 Manejo del experimento

A. Desinfección de las unidades experimentales

Se desinfectaron las bandejas y tubetes a utilizar, en caldera por medio de vapor, durante 90 minutos a una temperatura de 110 °C con el objetivo de reducir la incidencia de algún patógeno.

B. Sustrato

Se desinfectó el sustrato, en caldera por medio de vapor. Se colocó el sustrato en las bandejas y en los tubetes. El sustrato utilizado fue broza.

C. Elaboración de concentraciones

El procedimiento para la elaboración de las concentraciones fue el siguiente:

1. Se utilizó la siguiente fórmula para calcular los gramos de IBA que se utilizaron para cada concentración.

$$4,000\text{ppm} = \frac{4,000 \text{ mg IBA [100\%]}}{100 \text{ ml solución}} \times \frac{100\text{mg IBA solución}}{97 \text{ mg IBA puro}} = 4\text{g de IBA}$$

2. Se pesaron los 4 g de IBA al 97% y se diluyeron en 20 cc de alcohol isopropílico al 75%, hasta que se disolviera el IBA.
3. A los 100 g del polvo inerte se le agregó la solución del IBA y el alcohol isopropílico al 75%, homogenizando la mezcla para obtener las 4,000 ppm.
4. Se realizó el mismo procedimiento para la elaboración de las concentraciones de 6,000 ppm y 8,000 ppm.

D. Esquejes

La obtención y preparación de los esquejes de las diferentes especies involucró una serie de fases desde su corte hasta la siembra siendo éstas:

- a. **Corte:** se cortaron los esquejes o brotes de las plantas madres de cada una de las especies forestales, la longitud de los esquejes es 8 cm, se cortaron

con una tijera de podar, luego se procedió a mantener el esqueje en un recipiente con agua para evitar la deshidratación.

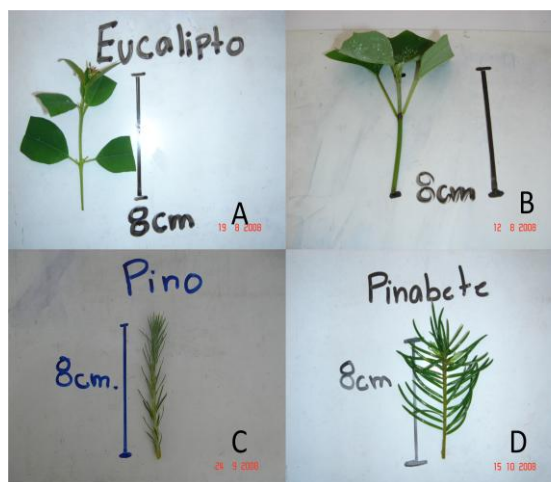


Figura 4. Tamaño de esquejes en A) Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), B) Melina (*Gmelina arborea* Roxb), C) Pino (*Pinus patula*), D) Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder).

- b. **Desinfección:** los esquejes se desinfectaron por inmersión en un fungicida a base de carbomato durante 3 segundos aproximadamente.
- c. **Aplicación de ácido indolbutírico:** se realizó conforme el tratamiento de cada concentración para las cuatro especies forestales. Se tomaron los esquejes y luego de la desinfección se impregnó 1 cm del esqueje, con la concentración de AIB que se elaboró para cada tratamiento.
- d. **Siembra:** Se esperan 3 segundos para que él AIB se impregnara en el esqueje, luego se sembró en el tubete con su respectivo sustrato.
- e. **Área de enraizamiento:** después de la siembra los esquejes se introdujeron en el invernadero de enraizamiento con condiciones de humedad relativa no menores del 70%, la temperatura mínima de 25°C y el riego que estaba controlado por un sistema de riego automatizado.
- f. **Área de adaptación:** Luego del enraizamiento de los esquejes pasaron del invernadero con alta humedad relativa y temperatura alta a el área de

adaptación en donde la humedad es baja y también la temperatura, el riego es nebulizado, en esta área también se maneja la sombra con sarán al 50%, para que el esqueje se adapte a condiciones normales y no sufriera deshidratación.

- g. Campo:** En esta fase las condiciones fueron; sol directo, riego diario durante 1 mes, listo para su comercialización.

E. Riego

Los esquejes se regaron con nebulizadores automáticos para que no se deshidrataran y mantenerlos a una alta humedad relativa aceptable.

Cuadro 2. Riego de los esquejes dentro del invernadero

Días después de la siembra	Tiempo de riego
1 a 15	2 segundos/5 minutos
15 a 30	2 segundos/8 minutos
30 a 37	2 segundos/15 minutos

F. Fertilización

La fertilización se realizó entre la fase de adaptación y la fase de campo con un fertilizante 11-44-11 con elementos menores, este fertilizante es alto en fósforo y con micro elementos, ya que es necesario para que las plantas desarrollen una mejor raíz.

2.5.5 Manejo de las plantas madres

Las plantas madres fueron donde se proporcionaron los esquejes o brotes, se les realizó un manejo intensivo en cuanto a fertilización, riego y fungicidas, esto sirvió para obtener esquejes con las características deseadas y obtener un buen enraizamiento.

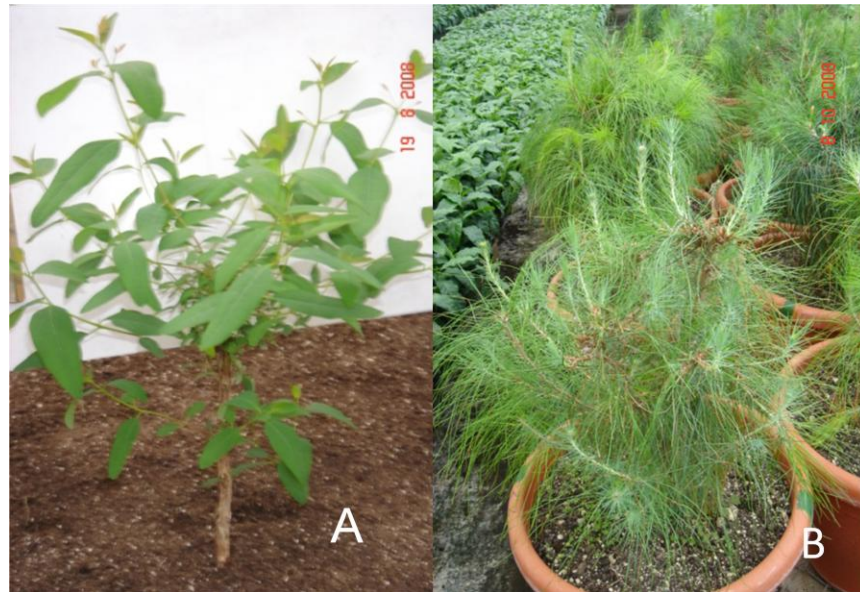


Figura 5. Plantas madres de: A) Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), B) Pino (*pinus patula*).

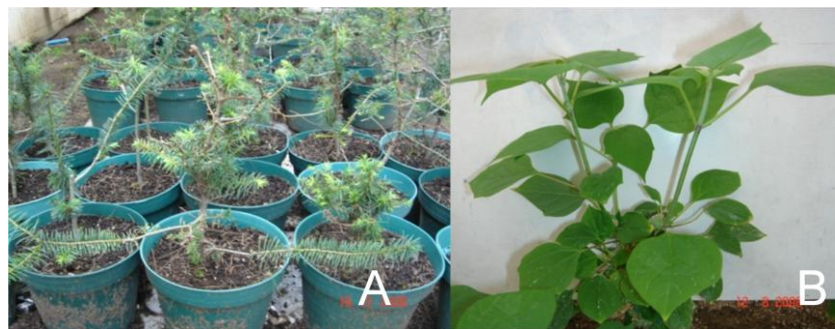


Figura 6. Plantas madres de: A) Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), B) Melina (*Gmelina arborea* Roxb).

A. Fertilización

Se fertilizaron una vez por semana, para mantener una buena nutrición de plantas madres, se fertilizaron de acuerdo al requerimiento.

Cuadro 3. Requerimiento nutricional de las plantas madres.

Macro nutrientes %				
N	P	K	Ca	Mg
2.5-3	0.2-0.4	1.5-2.0	1.0-1.5	0.25-0.4

Micro Nutrientes (mg/kg)					
Mn	Zn	Fe	Cu	B	S
100-500	50-60	100-200	10-15	40-70	0.15-0.25

B. Riego

Se regaron las camas con las plantas madres cada dos días dependiendo de la especie.

Cuadro 4. Riego de las plantas madres por especie.

Plantas madres	Riego
Eucalipto	2 / semanales
Melina	2 / semanales
Pino	1 semanal
Pinabete	1 semanal

El riego se realizó en las plantas madres hasta finalizar la investigación.

C. Podas

Se realizaron las podas de formación de las plantas madres cada semana dejando que los nuevos brotes se formaran en la parte de arriba de cada planta. Esto se realizó para que cada planta madre produjera mayor número de esquejes.

2.5.6 Variables de respuesta

Las variables de respuesta a medir en cada unidad experimental fueron únicamente en el área radical, desde donde se inicio la raíz en el esqueje hasta el extremo de la misma.

A. Variables Cuantitativas

a. Longitud de raíces Es la distancia promedio en centímetros desde donde inicia a formarse la raíz en el esqueje hasta donde termina. Se midió cada raíz de las diferentes especies forestales para determinar la longitud de cada esqueje enraizado.

b. Peso seco de las raíces: Se cortaron las raíces de las cuatro especies forestales y se sacó el peso húmedo de cada repetición de cada tratamiento. Se secaron en un horno en el laboratorio de fisiología vegetal a 45 °C durante 48 horas. El material seco se pesó en una balanza, y se obtuvo el porcentaje de materia seca de cada tratamiento. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MS} = 100 - \left[\frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso seco})}{\text{Peso inicial}} \right] \times 100$$

2.5.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para las variables de respuesta longitud de raíces, peso seco de las raíces.

2.5.8 Análisis cualitativo

Se efectuaron graficas, para esquematizar el porcentaje de enraizamiento, que consistió en el número de esquejes sembrados en cada tratamiento por cada una de las especies forestales, por el número de esquejes enraizados.

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

2.6.1 Porcentaje de materia seca

La primera variable de respuesta que se obtuvo fue la del porcentaje de materia seca. En el cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANDEVA) del porcentaje de materia seca.

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza (ANDEVA) del porcentaje de materia seca.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Factor A	182.48	3	60.83	50.85	<0.0001	**
Bloque	93.84	9	10.43	8.72	<0.0001	**
Factor B	2.33	3	0.78	0.65	0.585	NS
Factor A*Bloque	107.27	27	3.97	3.32	<0.0001	**
Factor A*Factor B	18.64	9	2.07	1.73	0.0904	NS
Error	129.18	108	1.2			
Total	533.74	159				

CV=37.40, CV=54.24, ** = altamente significativo, NS= no significativo.

Como se observa en el cuadro 5 correspondiente al análisis de varianza, las especies son las que provocan diferencia significativa, no así la interacción entre las especies (eucalipto, melina, pino y pinabete) y dosificaciones (4,000 ppm, 6,000 ppm, y 8,000 ppm). El valor de P-valor es menor a 0.05 existe evidencia estadística que las especies generan diferente porcentaje de materia seca.

Los resultados obtenidos de las medias del porcentaje de materia seca (gramos) del eucalipto, melina, pino y pinabete se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Resultado de las medias del porcentaje de materia seca.

Factor A	Medias	Tukey
Eucalipto	4.2	A
Melina	3.74	A
Pino	2.08	B
Pinabete	1.68	B

Las letras iguales en tukey no muestran diferencia alguna.

En el cuadro 6 en donde se observa que las medias obtenidas, muestran que las especies como el eucalipto es el que provoca mayor porcentaje de materia seca en la raíz con 4.20%, y la melina que tiene una media de 3.74% son las especies con mayor porcentaje. El pino con 2.08% y el pinabete con 1.68% son las especies con menor porcentaje de materia seca.

Es evidente que las especies el eucalipto y la melina presentan un mayor porcentaje de materia seca.

2.6.2 Longitud de raíces

El cuadro 7 muestra los resultados del análisis de varianza (ANDEVA) de la longitud de raíces de las especies evaluadas con cada una de las dosificaciones.

Cuadro 7. Resultados del Análisis de varianza (ANDEVA) de las longitudes de raíces de las especies.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Factor B	43.37	3	14.46	1.18	0.3222	NS
Bloque	903.09	9	100.34	8.17	<0.0001	**
Factor A	3070.62	3	1023.54	83.29	<0.0001	**
Factor A*Bloque	919.2	27	34.04	2.77	0.0001	**
Factor A*Factor B	183.85	9	20.43	1.66	0.107	NS
Error	1327.26	108	12.29			
Total	6447.39	159				

CV=54.24, ** = altamente significativo, NS= no significativo.

Como se puede observar en el cuadro 7 el análisis de varianza (ANDEVA) que se efectuó a la longitud de las raíces de las diferentes especies, la interacción entre el factor A que son las especies (melina, eucalipto, pino, pinabete) con el factor B que son las dosis de auxinas (4,000 ppm, 6,000 ppm, 8,000 ppm, testigo) no provoca diferencia significativa, porque el valor de probabilidad es mayor al 0.05 de significancia con el que se realizó la prueba. Esto nos indica que no hay una dosis de auxinas que provoque que las raíces de las cuatro especies forestales tengan mayor longitud.

El factor que provoca las diferencias significativas es el factor A (especies), porque su valor de probabilidad es mayor a 0.05 al que se le realizó la prueba. El comportamiento es diferente entre las especies, como el eucalipto es una especie semi leñosa, la raíz que se obtiene es mucho más larga que la del pino, esto puede ser debido a las condiciones dentro del invernadero, el eucalipto y la melina son plantas que se adaptan muy bien a altas temperaturas, su temperatura ideal es arriba de los 25°C donde su comportamiento es mucho mejor. Por otro lado el pino y pinabete que son especies leñosas son plantas que necesitan temperaturas bajas y por su hábitat.

El resultado obtenido de las medias de las longitudes de raíces del eucalipto, melino, pino y pinabete se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Resultados de las medias de las longitudes de raíces de las especies.

Factor A	Medias	Tukey	
Eucalipto	12.46		D
Melina	8.62	C	
Pino	3.6	B	
Pinabete	1.18	A	

Las letras iguales en tukey no muestran diferencia alguna

La especie que mostró una mayor longitud es el eucalipto con 12.46 cm de largo, la melina tiene una media de 8.62 cm de largo, estas dos especies tienen un promedio similar, ambas presentan un tallo suculento. Los promedios del pino de 3.6 cm y el pinabete de 1.18 cm se asemejan, son especies que tienen características en común son leñosas, lignificadas y presentan resina.



Figura 7. Longitud de raíces de Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*).



Figura 8. Longitud de raíces: A) Melina (*Gmelina arborea* Roxb), B) Pino (*Pinus patula*), C) Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder).

2.6.3 Porcentaje de enraizamiento

A continuación en la figura 9 se pueden observar los diferentes porcentajes de enraizamiento de cada especie y cada tratamiento.

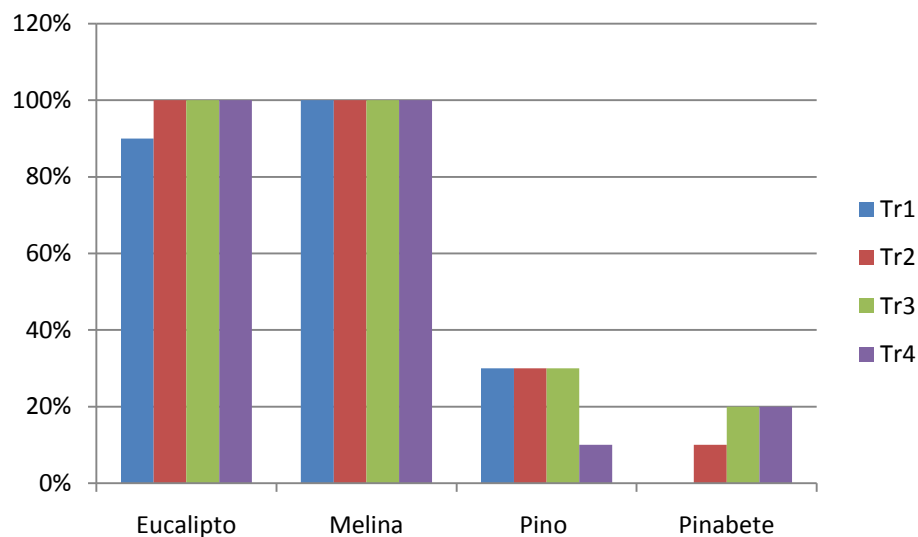


Figura 9. Porcentajes de enraizamiento de cada especie y las diferentes concentraciones de auxinas

En la figura 9 se muestra el eucalypto con la primera dosis de ácido indolbutírico muestra un porcentaje de enraizamiento del 90% a una concentración de auxinas de 4,000 ppm, sin embargo es la única dosis que presenta diferencia en cuanto al enraizamiento ya que la dosis de 6,000 ppm (TR2) la de 8,000 ppm (TR3) y el testigo (TR4) muestran los porcentajes más altos, por lo que para esta especie sin aplicación de ácido indolbutírico el enraizamiento es exitoso, debido a las condiciones dentro del invernadero, que son alta humedad relativa y temperatura alta.

La melina es una especie de fácil enraizamiento con aplicación de ácido indolbutírico y sin aplicación. En la figura 9 se observa que en la primera dosis de 4,000 ppm de ácido indolbutírico la barra muestra que el enraizamiento es de 100%, con la dosis de 6,000 ppm el porcentaje fue de 100%, y con la dosis más alta de 8,000 ppm de ácido indolbutírico fue de 100%, sin embargo sin ninguna aplicación de ácido indolbutírico la melina es una

especie que enraíza muy bien, tanto que influye las dosis de ácido si no que las condiciones dentro del invernadero para el enraizamiento.

El pino muestra diferencia con respecto a la aplicación de ácido indolbutírico, comparándola con el testigo si hay diferencia.

La primera dosis de auxinas 4,000 ppm (TR1) de ácido indolbutírico muestra un porcentaje de enraizamiento de 30%, la dosis de 6,000 ppm (TR2), muestra un porcentaje de enraizamiento de 30% al igual que la mayor dosis 8,000 ppm. El testigo si muestra una diferencia en el porcentaje de enraizamiento con 10%, con respecto a las dosis de ácido indolbutírico, por lo que si hay diferencias con la aplicación de las dosis de auxinas.

Los tratamientos TR1, TR2, TR3 no presentan diferencias entre éstos, por lo que se pueden aplicar una de éstas (4,000 ppm, 6,000 ppm, 8,000ppm) para su enraizamiento.

El pinabete muestra en la primera dosis 4,000 ppm (TR1) un porcentaje de enraizamiento de 10%, la segunda dosis 6,000 ppm (TR2) con un 20% y la dosis más alta 8,000 ppm (TR3) 20%, la testigo con un 20%, no hay ninguna diferencia significativa entre las dosis, el porcentaje de enraizamiento en el testigo presenta poca diferencia con respecto a las dosis de auxinas.

2.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.7.1 CONCLUSIONES

a) Se estableció un procedimiento para la propagación de vegetativa del eucalipto, melina, pino y pinabete. Después del corte de los brotes o esquejes de las plantas madres de cada una de las especies mencionadas, se siembran y luego se llevan al invernadero de enraizamiento en donde se brindan las condiciones necesarias para obtener un enraizamiento exitoso.

Las condiciones que se manejan dentro del invernadero son alta humedad relativa, esta se alcanza con humedad directa, se alcanza por medio de riego nebulizado, y la temperatura la proporciona el invernadero. Por lo que el tiempo que los esquejes o brotes desde el día de su corte pasan de 30 a 35 días donde emiten sus raíces. Luego de esta etapa se trasladan los esquejes enraizados a otra fase en donde se lleva a la aclimatación antes de ser llevados a campo, en esta área se proporciona sombra y humedad directa por el riego nebulizado, sin humedad relativa alta y la primera fertilización.

La etapa siguiente los esquejes o plántulas no llevan sombra, por lo tanto les da el sol directo y esto ayuda al endurecimiento de las especies, en esta etapa ya llevan fertilizaciones semanales y es la última antes de ser llevados a campo.

b) Se determinó que las concentraciones de auxinas utilizadas no provocan diferencias significativas en las raíces, sin embargo las medias de las longitudes de raíces, indican que la especie con mayor longitud de raíces es el eucalipto con 12.46 cm, con el tratamiento 2, 6,000 ppm, la melina con 8.62 cm, en el tratamiento 1, con la dosis de 4,000 ppm el pino con 3.6 cm, en el tratamiento 3, con la dosis de 8,000 ppm y el pinabete 1.18 cm, con el tratamiento 4, el testigo.

c) Se determinó que los días óptimos para llevar a campo un esqueje o brote, de las cuatro especies forestales, desde el corte de las plantas madres hasta, una planta endurecida son de 70 días.

2.7.2 RECOMENDACIONES

- a) Realizar nuevas investigaciones en donde solo se evalué una sola especie con otras dosis de ácido indobutírico y en las variables de respuesta tomar el número de hojas de los esquejes.

- b) Para el pino y pinabete enraizaron con temperaturas menores de 25°C. Investigar rangos de temperaturas diferentes.

2.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Anleu, O. 1980. Técnicas generales sobre injertación de coníferas. Guatemala, INAFOR / BANSEFOR. 15 p.
2. Bidwell, RGS. 1990. Fisiología vegetal. Trad. por Guadalupe Cano. México, AGT Editor. v. 2, 784 p.
3. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 1999. Diagnostico de las poblaciones naturales de pinabete (*Abies guatemalensis*) en Guatemala y estrategia para su conservación. Guatemala. p. 7-8.
4. Díaz, ERA; Salazar, R, Mesen, F. 1991a. Enraizamiento de estacas juveniles de *Gmelina arborea* Linn. Silvoenergía no. 49:4. Citado por: Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
5. _____. 1991b. Enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrella odorata* L. Silvoenergía no.51:4. Citado por: Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
6. Fierros, A; Noguéz, A, Velasco, E. 1999. Paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en ecosistemas de climas templados - fríos y tropicales de México. México, SEMANARP. v. 1, 50 p.
7. FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). 2000. Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*). Cartago, Costa Rica. Consultado 24 abr 2008. Disponible en http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf
8. García Rodríguez, G. 1989. Respuesta de la semilla de tres especies forestales (*Abies guatemalensis* Rehder, *Tectona grandis* Linneo y *Junglans guatemalensis* Manning). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 37 p.
9. García Tello, W. 1993. Estudio de la respuesta del pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) a su reproducción vegetativa *in vitro* utilizando dos medios de cultivo, dos explantes y seis combinaciones hormonales. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
10. Gillespie, AJR. 2000. *Pinus patula* Schiede & Deppe: pino pátula, ocote; Pinaceae familia de los pinos (en línea). Washington, DC, US, Department of Agriculture. 466 p. Consultado el 25 ar 2010. Consultado 20 mar 2009. Disponible en www.fs.fed.us/global/iitf/Pinuspatula.pdf

11. Hartmann, HT; Kesler, DE. 1998. Propagación de plantas: principios y prácticas. 2 ed. Trad. Antonio Marino Ambrosio. México, CECOSA. 760 p.
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1976. Diccionario geográfico de Guatemala. Comp. Francis Gall. 2 ed. Guatemala. tomo 1, p.118-138.
13. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Rendimiento y costos del procesamiento de frutos y semillas de 14 especies forestales. Guatemala. 60 p.
14. Leakey, RBB; Mesen, F; Tchoundjeu, Z; Longman, KA; Dick, J; Newton, A; Grace, J; Munro, R; Mutoka, P. 1990. Low technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* 69(3):247-257. Citado por: Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
15. Leakey, RRB; Mesén, F. 1991. Métodos de propagación vegetativa en arboles tropicales: enraizamiento de estacas suculentas. Ed. por Cornelius, PJ; Mesén, F; Corea, E. *In* Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 135-153.
16. Mesen, F. 1993. Vegetative propagation of Central America hardwoods. Thesis Ph. Edinburgh, Scotland, University of Edinburgh, Institute of Terrestrial Ecology. 231 p. Citado por: Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
17. Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
18. Mesen, F; Leakey, RBB; Newton, A. 1992. Hacia el desarrollo de técnicas de silvicultura clonal para el pequeño finquero. *El Chasqui* 28:6-18. Citado por: Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
19. Mesen, F; Leakey, RBB; Newton, A. 1996. Propagadores de subirrigación: un sistema simple y económico para la propagación vegetativa de especies forestales. *In* Avances en la producción de semillas forestales en América Latina: memorias. 1995. Ed. por Salazar, R. Managua, Nicaragua, s.e. p. 101-110. Citado por Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
20. Mesén, F; Newton, AC; Leakey, RRB. 1997. Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken: the effects of IBA concentration, propagation medium and cutting origin. *Forest Ecology and Management (Holanda)* no.1:92.
21. Mesen, F; Trejos, E. 1998. Propagación vegetativa de San Juan (*Vochysia guatemalensis* Donn. Smith) mediante enraizamiento de estacas juveniles. *Revista*

- Forestal Centroamericana (en Prensa). Citado por: Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
22. Murillo, O; Rojas J; Badilla, Y. 2003. Reforestación clonal. 2 ed. Cartago, Costa Rica, IICA, Escuela de Ingeniería Forestal / Expomaderas / FUNDECOR. 36 p.
 23. Nuñez, B. 1997. Propagación vegetativa del cristobal (*Platymiscium pinnatum* Benth); pilón (*Hyeronima alchorneoides* Allemo) y surá (*Terminalia oblonga* Ruiz & Pavon) mediante el enraizamiento de estacas juveniles. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 150 p. Citado por: Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
 24. Pérez Irungaray, J. 1999. Evaluación de la propagación vegetativa de teca (*Tectona grandis* L.), chichique (*Angiosperma megalocarpon* Muell.Arg), palo blanco (*Cydistax donnellsmithii*_Rose Seibert) y matiliguatate (*Tabebuia rosea*_Bertol DC). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
 25. Pérez, H. 1997. Evaluación de la capacidad de enraizamiento de dos especies arbóreas, sauco (*Sambucus mexicana* Presl) y sauce (*Salix* spp.), con fines de utilización en sistemas agroforestales, bajo las condiciones del paraje de Paxotaja, aldea Xesana del municipio de Santa María Chiquimula del departamento de Totonicapán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 41 p.
 26. USAID, CR. 1984. Firewood crops, shrub and tree species for energy production Vera Arguello de Fernández. Costa Rica, CATIE / Proyecto Leñas y Fuentes Alternas de Energía. p. 82-83, 86-87, 124-125.
 27. Vela, G. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* (en línea). México, INIFAP. Publicación especial no.19. Consultado 24 mar 2009. Disponible en: <http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/PDF/Pino%//20patula.pdf>
 28. Weaver, R. 1985. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. Trad. por Agustín Contín. México, Trillas. 622 p.
 29. Wormald, TJ. 1975. *Pinus patula* (en línea). Oxford, UK, Commonwealth Forestry Institute, Department of Forestry, Tropical Forestry 7. 212 p. Consultado 25 mar 2010. Disponible en <Http://www.fs.fed.us/global/iitf/Pinuspatula.pdf>

Cuadro 10A. Resultados del porcentaje de materia seca.

Tratamiento	Especie	Bloque	Peso húmedo	Peso seco	% MS
Tr1	Eucalipto	1	0.2	0.02	10.000
Tr1	Eucalipto	2	0.19	0.015	7.890
Tr1	Eucalipto	3	0.3	0.023	7.670
Tr1	Eucalipto	4	0.17	0.016	9.410
Tr1	Eucalipto	5	0.11	0.013	11.820
Tr1	Eucalipto	6	0.01	0.002	20.000
Tr1	Eucalipto	7	0.21	0.001	0.480
Tr1	Eucalipto	8	0.025	0.009	36.000
Tr1	Eucalipto	9	0.026	0.008	30.770
Tr1	Eucalipto	10	0	0	0
Tr1	Melina	1	0.53	0.05	9.434
Tr1	Melina	2	0.59	0.043	7.288
Tr1	Melina	3	0.22	0.023	10.455
Tr1	Melina	4	0.8	0.059	7.375
Tr1	Melina	5	0.47	0.034	7.234
Tr1	Melina	6	1.03	0.082	7.961
Tr1	Melina	7	0.72	0.058	8.056
Tr1	Melina	8	0.15	0.02	13.333
Tr1	Melina	9	0.32	0.034	10.625
Tr1	Melina	10	0.51	0.042	8.235
Tr1	Pino	1	0.13	0.035	26.923
Tr1	Pino	2	0.13	0.017	13.077
Tr1	Pino	3	0.21	0.029	13.81
Tr1	Pino	4	0	0	0
Tr1	Pino	5	0	0	0
Tr1	Pino	6	0	0	0
Tr1	Pino	7	0	0	0

Continuación cuadro 10A.

Tratamiento	Especie	Bloque	Peso húmedo	Peso seco	% MS
Tr1	Pino	8	0	0	0
Tr1	Pino	9	0	0	0
Tr1	Pino	10	0	0	0
Tr1	Pinabete	1	0	0	0
Tr1	Pinabete	2	0	0	0
Tr1	Pinabete	3	0	0	0
Tr1	Pinabete	4	0	0	0
Tr1	Pinabete	5	0	0	0
Tr1	Pinabete	6	0	0	0
Tr1	Pinabete	7	0	0	0
Tr1	Pinabete	8	0	0	0
Tr1	Pinabete	9	0	0	0
Tr1	Pinabete	10	0	0	0
Tr2	Eucalipto	1	0.19	0.017	8.947
Tr2	Eucalipto	2	0.027	0.011	40.741
Tr2	Eucalipto	3	0.17	0.015	8.824
Tr2	Eucalipto	4	0.022	0.005	22.727
Tr2	Eucalipto	5	0.26	0.018	6.923
Tr2	Eucalipto	6	0.13	0.012	9.231
Tr2	Eucalipto	7	0.17	0.013	7.647
Tr2	Eucalipto	8	0.34	0.024	7.059
Tr2	Eucalipto	9	0.24	0.014	5.833
Tr2	Eucalipto	10	0.031	0.016	51.613
Tr2	Melina	1	0.98	0.068	6.939
Tr2	Melina	2	0.53	0.036	6.792
Tr2	Melina	3	0.4	0.03	7.5
Tr2	Melina	4	0.67	0.048	7.164
Tr2	Melina	5	0.17	0.011	6.471
Tr2	Melina	6	1.25	0.073	5.84
Tr2	Melina	7	0.45	0.02	4.444
Tr2	Melina	8	0.56	0.038	6.786
Tr2	Melina	9	0.9	0.071	7.889
Tr2	Melina	10	0.44	0.03	6.818
Tr2	Pino	1	0.19	0.039	20.526
Tr2	Pino	2	0.16	0.024	15
Tr2	Pino	3	0.14	0.026	18.571

Continuación cuadro 10A.

Tratamiento	Especie	Bloque	Peso húmedo	Peso seco	% MS
Tr2	Pino	4	0	0	0
Tr2	Pino	5	0	0	0
Tr2	Pino	6	0	0	0
Tr2	Pino	7	0	0	0
Tr2	Pino	8	0	0	0
Tr2	Pino	9	0	0	0
Tr2	Pino	10	0	0	0
Tr2	Pinabete	1	0.11	0.021	19.09
Tr2	Pinabete	2	0	0	0
Tr2	Pinabete	3	0	0	0
Tr2	Pinabete	4	0	0	0
Tr2	Pinabete	5	0	0	0
Tr2	Pinabete	6	0	0	0
Tr2	Pinabete	7	0	0	0
Tr2	Pinabete	8	0	0	0
Tr2	Pinabete	9	0	0	0
Tr2	Pinabete	10	0	0	0
Tr3	Eucalipto	1	0.23	0.022	9.565
Tr3	Eucalipto	2	0.1	0.01	10
Tr3	Eucalipto	3	0.21	0.014	6.667
Tr3	Eucalipto	4	0.2	0.016	8
Tr3	Eucalipto	5	0.27	0.018	6.667
Tr3	Eucalipto	6	0.1	0.01	10
Tr3	Eucalipto	7	0.1	0.018	18
Tr3	Eucalipto	8	0.22	0.022	10
Tr3	Eucalipto	9	0.15	0.015	10
Tr3	Eucalipto	10	0.017	0.001	5.882
Tr3	Melina	1	0.62	0.048	7.742
Tr3	Melina	2	0.73	0.063	8.63
Tr3	Melina	3	0.5	0.043	8.6
Tr3	Melina	4	0.94	0.085	9.043
Tr3	Melina	5	0.36	0.03	8.333
Tr3	Melina	6	0.77	0.06	7.792
Tr3	Melina	7	0.64	0.065	10.156
Tr3	Melina	8	0.59	0.043	7.288
Tr3	Melina	9	0.6	0.033	5.5

Continuación cuadro 10A.

Tratamiento	Especie	Bloque	Peso húmedo	Peso seco	%MS
Tr3	Melina	10	1.2	0.139	1.583
Tr3	Pino	1	0.14	0.047	33.571
Tr3	Pino	2	0.28	0.045	16.071
Tr3	Pino	3	0.16	0.022	13.75
Tr3	Pino	4	0	0	0
Tr3	Pino	5	0	0	0
Tr3	Pino	6	0	0	0
Tr3	Pino	7	0	0	0
Tr3	Pino	8	0	0	0
Tr3	Pino	9	0	0	0
Tr3	Pino	10	0	0	0
Tr3	Pinabete	1	0.19	0.059	31.052
Tr3	Pinabete	2	0.21	0.079	37.619
Tr3	Pinabete	3	0	0	0
Tr3	Pinabete	4	0	0	0
Tr3	Pinabete	5	0	0	0
Tr3	Pinabete	6	0	0	0
Tr3	Pinabete	7	0	0	0
Tr3	Pinabete	8	0	0	0
Tr3	Pinabete	9	0	0	0
Tr3	Pinabete	10	0	0	0
Tr4	Eucalipto	1	0.009	0.0009	10
Tr4	Eucalipto	2	0.13	0.01	7.692
Tr4	Eucalipto	3	0.02	0.001	5
Tr4	Eucalipto	4	0.22	0.007	3.182
Tr4	Eucalipto	5	0.13	0.01	7.692
Tr4	Eucalipto	6	0.24	0.025	10.417
Tr4	Eucalipto	7	0.029	0.003	10.345
Tr4	Eucalipto	8	0.14	0.013	9.286
Tr4	Eucalipto	9	0.17	0.017	10
Tr4	Eucalipto	10	0.015	0.001	6.667
Tr4	Melina	1	0.69	0.059	8.551
Tr4	Melina	2	0.8	0.052	6.5
Tr4	Melina	3	0.21	0.014	6.667
Tr4	Melina	4	0.1	0.011	11
Tr4	Melina	5	0.58	0.04	6897

Continuación cuadro 10A.

Tratamiento	Especie	Bloque	Peso húmedo	Peso seco	%MS
Tr4	Melina	6	0.76	0.055	7.237
Tr4	Melina	7	0.35	0.028	8
Tr4	Melina	8	0.8	0.045	5.625
Tr4	Melina	9	1.16	0.069	5.948
Tr4	Melina	10	0.65	0.046	7.077
Tr4	Pino	1	0.05	0.01	20
Tr4	Pino	2	0	0	0
Tr4	Pino	3	0	0	0
Tr4	Pino	4	0	0	0
Tr4	Pino	5	0	0	0
Tr4	Pino	6	0	0	0
Tr4	Pino	7	0	0	0
Tr4	Pino	8	0	0	0
Tr4	Pino	9	0	0	0
Tr4	Pino	10	0	0	0
Tr4	Pinabete	1	0.16	0.029	18.125
Tr4	Pinabete	2	0.33	0.15	45.45
Tr4	Pinabete	3	0	0	0
Tr4	Pinabete	4	0	0	0
Tr4	Pinabete	5	0	0	0
Tr4	Pinabete	6	0	0	0
Tr4	Pinabete	7	0	0	0
Tr4	Pinabete	8	0	0	0
Tr4	Pinabete	9	0	0	0
Tr4	Pinabete	10	0	0	0

Cuadro 11A. Resultados del porcentaje de enraizamiento

Factor B	Factor A			
	Especies			
Tratamiento	Eucalipto	Melina	Pino	Pinabete
Tr1	90%	100%	30%	0%
Tr2	100%	100%	30%	10%
Tr3	100%	100%	30%	20%
Tr4	100%	100%	10%	20%

Cuadro 12A. Análisis de Varianza porcentaje de materia seca

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%Materia seca	160	0.8	0.64	37.4

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	404.56	51	7.93	6.63	<0.0001
Factor A	182.48	3	60.83	50.85	<0.0001
Bloque	93.84	9	10.43	8.72	<0.0001
Factor B	2.33	3	0.78	0.65	0.585
Factor A*Bloque	107.27	27	3.97	3.32	<0.0001
Factor A*Factor B	18.64	9	2.07	1.73	0.0904
Error	129.18	108	1.2		
Total	533.74	159			

Cuadro 13A. Prueba de tukey del análisis de varianza del porcentaje de materia seca.

Factor A	Medias	n	Tukey	
Melina	3.74	40		B
Eucalipto	4.2	40		B
Pinabete	1.68	40	A	
Pino	2.08	40	A	

Cuadro 14A. Análisis de varianza de las longitudes de raíces.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
longitud de raíces	160	0.79	0.7	54.24

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5120.13	51	100.39	8.17	<0.0001
Factor B	43.37	3	14.46	1.18	0.3222
Bloque	903.09	9	100.34	8.17	<0.0001
Factor A	3070.62	3	1023.54	83.29	<0.0001
Factor A*Bloque	919.2	27	34.04	2.77	0.0001
Factor A*Factor B	183.85	9	20.43	1.66	0.107
Error	1327.26	108	12.29		
Total	6447.39	159			

Cuadro 15A. Prueba de tukey del análisis de varianza de la longitud de raíces.

Factor A	Medias	n	Tukey			
Eucalipto	12.46	40				D
Melina	8.62	40			C	
Pino	3.6	40		B		
Pinabete	1.18	40	A			

CAPÍTULO III
SERVICIOS REALIZADOS EN LA EMPRESA “PILONES DE ANTIGUA S.A.”

3.1 PRESENTACIÓN

En este capítulo se describe sobre el mantenimiento del área de enraizamiento de la propagación vegetativa, en el cual se detalla sobre los principales factores que influyen como, la esterilización del invernadero se realiza todas las semanas para evitar el inóculo de algún patógeno, la desinfección de las bandejas, tubetes y la aplicación de productos químicos para evitar las algas.

Otro factor muy importante que se debe tomar en cuenta en el área de enraizamiento es la limpieza de los nebulizadores, esto dependerá que la brisa sea fina y evitara la deshidratación de los esquejes. El mantenimiento de los controladores que es esencial para que el área de enraizamiento se mantenga húmeda y evitar cambios bruscos en la humedad, que puedan afectar.

La temperatura, la humedad relativa es lo esencial en esta área de enraizamiento, de esto depende el éxito del enraizamiento.

En este manual se describe el mantenimiento y los cuidados que se deben realizar como por ejemplo, la temperatura, el riego, la humedad relativa, controlador de riego etc. Para poder facilitar el enraizamiento de cualquier especie.

3.2 Mantenimiento del área de enraizamiento para la propagación vegetativa

3.2.1 OBJETIVOS

Colaborar con el proceso del mantenimiento del área de enraizamiento para la propagación vegetativa, aportando un manual, el cual detalle lo que se debe realizar para obtener un exitoso enraizamiento y mantener el área de enraizamiento libre de patógenos y funcionando de una forma optima.

3.2.2 METODOLOGÍA

A. Prevención fitosanitaria

a. Esterilización

Este proceso se lleva a cabo todas semanas para tener esterilizado el invernadero, esto se realiza por el manejo de altas humedades y que es muy propicio para el desarrollo de algún patógeno en los esquejes de los diferentes cultivos que se manejan dentro de este invernadero.

El esterilizado se lleva a cabo todos los lunes con la aplicación de un producto fungicida a base de iodo etanol (alcohol polioxi- etileno), esto para contrarrestar e evitar algún tipo de patógeno dentro del invernadero.

b. Plagas

La principal plaga que afecta dentro del invernadero es la araña roja (*Tetranychus urticae*). El control de plagas se lleva a cabo en forma semanal con la rotación de algunos de los siguientes insecticidas a base de:

- Avermectina Abamectin
- Aceite vegetal
- Ketoenol Spiromesifen

Se realiza estas aplicaciones para prevención de algún ataque de la araña a los esquejes de las diferentes especies.

c. Patógenos

Es importante mantener el invernadero libre de cualquier tipo de algas, puede verse afectado, el enraizamiento de los esquejes de eucalipto, melina, pino y pinabete. El invernadero por la humedad relativa alta y la sombra que tiene favorece a la formación de algas, este es un medio ideal para la proliferación de hongos y otros patógenos, por lo que deben seguirse todas las medidas posibles de desinfección y prevención. Por consiguiente es importante el control de la misma. Las aplicaciones se realizan una vez semanalmente con dos productos, a base de cloro y cobre.

Las bandejas plásticas y los tubetes se lavan y se desinfectan con productos a base de cobre y cloro, antes de la siembra de los esquejes que posteriormente ingresan al invernadero.

La melina (*Gmelina arborea* Roxb), Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), son especies sensibles a patógenos, se debe realizarse cada semana una aplicación de un fungicida dentro del invernadero con fines de prevención de problemas fitosanitarios. Se debe procurar alternar diferentes productos con el fin de lograr un mayor espectro de cobertura.



Figura 10: Manchas de alga en el área de enraizamiento.

B. Riego

a. Nebulizadores

Los nebulizadores son importantes, la parte principal del invernadero, propician la brisa para mantener la humedad relativa e evitar la deshidratación de los esquejes de las diferentes especies.

La formación de algas en los nebulizadores da mucho problema, tapa los nebulizadores y afecta la brisa de los mismos. Se realiza una limpieza manual de los nebulizadores cada 30 días. La limpieza se realiza por la tarde a las 4:00 pm, a esta hora la humedad relativa dentro del invernadero es alta por lo que no se necesita la brisa, mientras se realiza la limpieza de los nebulizadores.

Se retiran los nebulizadores con su respectivo filtro, se desarman y luego con las piezas desarmadas de cada uno de los nebulizadores, excepto los filtros, se colocan y se sumergen en acido fosfórico a una dosis de 25 cc/lt.

Los filtros se dejan en acido fosfórico pero en menor dosis 12 cc/lt de acido fosfórico. Ambos se dejan durante toda la noche hasta al otro día, para un total de 14 horas.

Se limpian cada una de las partes, con un cepillo pequeño en donde el acido fosfórico no haya removido las algas. Se procede a armar los nebulizadores con su filtro etc. Se instalan los nebulizadores, para ponerlos a funcionar lo más ante posible ya que los esquejes no pueden permanecer mucho tiempo sin brisa y el invernadero sin humedad.



Figura 11: nebulizadores sucios con algas.

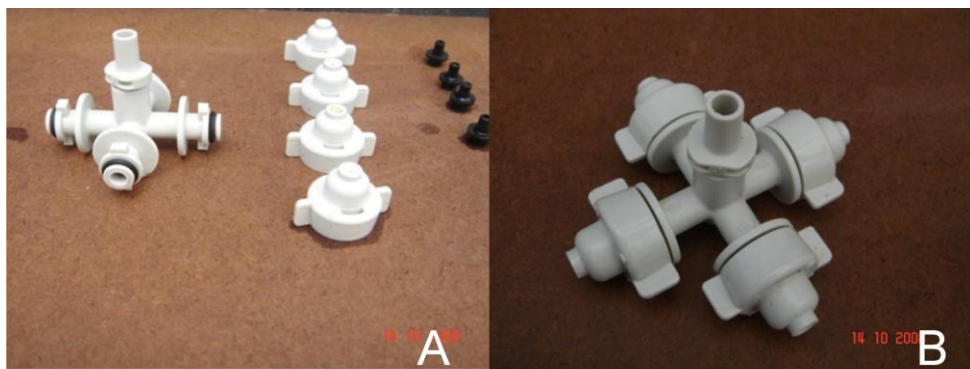


Figura 12: A) Nebulizador desarmado, B) Nebulizador limpio.

b. Filtro

El filtro con el que se cuenta es de anillos, este se encuentra afuera del invernadero, es importante, este no deja pasar ningún tipo de arena o sedimento que provienen del reservorio y ayuda a que no se tapen los nebulizadores.

El filtro se debe limpiar 3 veces por semana y una vez por semana dejarlo en ácido fosfórico en la dosis de 25cc/lt. para su limpieza, esto nos evitara que los nebulizadores no se tapen y tenga la brisa más fina para poder tener un enraizamiento exitoso.

c. Controladores

El mantenimiento de los controladores de riego, se deben de supervisar cada 30 días. Se debe revisar que los componentes del controlador de riego presenten buenas condiciones, la batería debe estar funcionando bien, esta por lo general se debe cambiar cada 30 días. Donde se encuentra el selenoide y la válvula, se debe de realizar una limpieza para evitar partículas de sedimentos en los mismo, éstas se realizan con un cepillo pequeño agua y jabón.

C. Temperatura y humedad relativa

La temperatura y la humedad relativa dentro del área de enraizamiento es lo importante, esto va depender del éxito del enraizamiento de los esquejes de los diferentes especies pino, melina, eucalipto y pinabete.

a. Temperatura

La temperatura es importante y se debe de tener un buen control, a temperaturas muy altas se deben levantar cortinas para que no se deshidraten los esquejes, se debe realizar esto pero con precaución para que la humedad relativa no baje tanto. Cuando se presenten temperaturas muy bajas las cortinas de afuera del invernadero deben permanecer cerradas para aumentar la temperatura.

b. Humedad relativa

La humedad relativa se maneja junto con la temperatura, a mayor temperatura menos humedad relativa, y con temperaturas bajas es mayor la humedad relativa.

Por lo general los nebulizadores se encienden de 8:00 am a 4:00 pm, la humedad después de las 4:00pm es de 99% por lo que no es necesario mantener la brisa.

Es muy importante llevar un historial de temperaturas y humedad relativa por lo que es necesario tomar temperaturas en la mañana para ver el comportamiento durante la noche, y en la tarde para revisar el comportamiento de la temperatura y humedad relativa durante el día.

En las noches si la temperatura es menor de 20°C se debe de dejar calentadores, para que los esquejes no sufran estrés.



Figura 13: Área de enraizamiento.

3.2.3 EVALUACIÓN

Se estableció el manual para el mantenimiento del área de enraizamiento de la propagación vegetativa de la melina (*Gmelina arborea* Roxb), Eucalipto (*Eucaliptus urograndis*), pino (*Pinus patula*) y Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder), con el objetivo de obtener un exitoso enraizamiento, con el buen manejo de prevención de hongos, algas etc. un riego nebulizado con una brisa fina y adecuada y el manejo de la temperatura y humedad relativa que es un factor muy importante en el enraizamiento de estas especies. Se espera que sea una fuente de consulta práctica para poder llevar a cabo el mantenimiento de esta área, ayudara a la producción de la propagación vegetativa de las cuatro especies forestales.