

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES

**ADAPTABILIDAD DE PROGENIES DE *Eucalyptus* DURANTE EL PRIMER AÑO; SAN JUAN
CHAMELCO, ALTA VERAPAZ
TESIS DE GRADO**

JUAN LEONEL LÓPEZ YAT
CARNET 21174-10

**SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, ABRIL DE 2017
CAMPUS "SAN PEDRO CLAVER, S . J." DE LA VERAPAZ**

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES

**ADAPTABILIDAD DE PROGENIES DE *Eucalyptus* DURANTE EL PRIMER AÑO; SAN JUAN
CHAMELCO, ALTA VERAPAZ
TESIS DE GRADO**

**TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

**POR
JUAN LEONEL LÓPEZ YAT**

**PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES EN EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

**SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, ABRIL DE 2017
CAMPUS "SAN PEDRO CLAVER, S . J." DE LA VERAPAZ**

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS

VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. MANUEL SABINO MOLLINEDO GARCÍA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

ING. CARLOS ENRIQUE VILLANUEVA GONZALEZ

ING. CLAUDIO ALBERTO LOPEZ RIOS

ING. ROBERTO WALDEMAR MOYA FERNÁNDEZ


Cobán, Alta Verapaz, 01 de abril de 2017

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago contar que he procedido a revisar el Informe Final de Tesis del estudiante Juan Leonel López Yat, que se identifica con el carné 21174-10, titulado: "Adaptabilidad de progenies de *Eucalyptus* durante el primer año; San Juan Chamelco, Alta Verapaz".

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado, previo a su autorización de impresión.



Atentamente,
Ing. Agr. M. Sc. Manuel Sabino Mollinedo García
Colegiado No. 1743

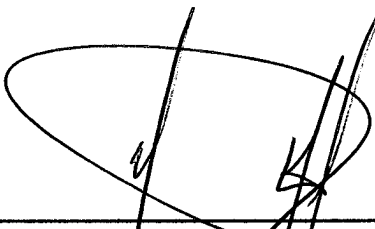
Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JUAN LEONEL LÓPEZ YAT, Carnet 21174-10 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES, del Campus de La Verapaz, que consta en el Acta No. 0649-2017 de fecha 18 de abril de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

ADAPTABILIDAD DE PROGENIES DE *Eucalyptus* DURANTE EL PRIMER AÑO; SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ

Previo a conferírsele el título de INGENIERO FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 26 días del mes de abril del año 2017.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MONGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

ÍNDICE

RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. CONCEPTOS.....	3
2.1.1. Dendroenergía.....	3
2.1.2. Familia.....	3
2.1.3. Individuo	3
2.1.4. Progenie	3
2.1.5. Clon.....	3
2.1.6. Heredabilidad	3
2.2. MEJORAMIENTO GENÉTICO	4
2.2.1. Mejoramiento genético forestal.....	4
2.2.2. Estrategia de mejoramiento	6
2.2.3. El ciclo de mejoramiento genético	7
2.2.4. La estrategia y el plan de mejoramiento genético	7
2.3. ETAPAS EN EL CICLO DE MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL	8
2.3.1. Plan de mejoramiento.....	8
2.3.2. Selección de individuos	8
2.3.3. Selección fenotípica.....	9
2.3.4. Selección genotípica.....	9
2.3.5. Ensayos de progenie y ensayos clónales	9
2.3.6. Huertos semilleros.....	10
2.3.7. Propagación vegetativa	10
2.4. MÉTODOS PARA DESARROLLAR PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO FORESTAL.....	11
2.4.1. Mejoramiento genético a nivel de especies y procedencias sin evaluación de la descendencia	11
2.4.2. Mejoramiento genético a nivel de especie, combinado con la prueba, selección y establecimiento de fuentes semilleras mejoradas	11

2.4.3. Mejoramiento genético a nivel de procedencias, combinado con la prueba, selección y establecimiento de fuentes semilleras mejoradas.....	12
2.4.4. Mejoramiento forestal a nivel de árbol individual, combinado con prueba y cruzamiento	13
2.5. EUCALIPTO	13
2.5.1. Características botánicas de eucalipto.....	15
2.5.2. El Eucalipto en la actualidad.....	16
2.6. PLANTACIONES FORESTALES CON FINES ENERGÉTICOS.....	16
2.7. CLONES.....	17
2.7.1. Ensayos clónales.....	17
2.7.2. Jardín clonal	17
2.7.3. Silvicultura clonal.....	17
2.8. ESTUDIOS REALIZADOS EN OTROS PAÍSES.....	18
2.9. ESTUDIOS REALIZADOS EN GUATEMALA	19
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	23
3.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	24
IV. OBJETIVOS	26
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	26
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
V. HIPÓTESIS.....	27
5.1. Hipótesis nula	27
5.2. Hipótesis alterna.....	27
VI. METODOLOGÍA.....	28
6.1. LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO	28
6.1.1. Zona de vida.....	28
6.1.2. Taxonomía de suelo	28
6.1.3. Características climáticas	29
6.2. FASE METODOLÓGICA	29
6.3. MATERIAL EXPERIMENTAL	30
6.4. VARIABLES A ESTUDIAR	30
6.5. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	30
6.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	31
6.7. MODELO ESTADÍSTICO	31

6.8. UNIDAD EXPERIMENTAL	31
6.9. CROQUIS DE CAMPO	32
6.10. MANEJO DEL EXPERIMENTO	32
6.10.1.Preparación del terreno	32
6.10.2.Control de maleza	32
6.10.3.Control de plagas	32
6.10.4.Identificación de los tratamientos.....	32
6.10.5.Ronda corta fuego	32
6.11. MATERIALES Y RECURSOS.....	33
6.12. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN	33
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
7.1. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO.....	34
7.1.1. Análisis de las variables de crecimiento a los seis meses.....	34
7.1.2. Análisis de las variables de crecimiento a los doce meses	38
7.2. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD	43
7.2.1. Análisis de volumen por hectárea para el ensayo 1	43
7.2.2. Análisis de volumen por hectárea para el ensayo 2	43
7.2.3. Análisis de sobrevivencia a los doce meses	44
7.3. ANÁLISIS FENOTÍPICO A LOS DOCE MESES	45
7.4. DISCUSIÓN.....	46
VIII. CONCLUSIONES	51
IX. RECOMENDACIONES.....	52
X. BIBLIOGRAFÍA.....	53
XI. ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales y recursos que se utilizaran durante el experimento.....	33
Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable altura total a los seis meses.....	34
Cuadro 3. Prueba de duncan para la variable altura total a los seis meses.....	35
Cuadro 4. Análisis de varianza para la variable altura total a los seis meses.....	37
Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable altura total a los doce meses.....	38
Cuadro 6. Prueba de tuckey para la variable altura total a los doce meses.....	39
Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable altura total a los doce meses.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos del mejoramiento genético forestal.....	4
Figura 2. Esquema de un programa de mejoramiento genético forestal.....	6
Figura 3. Etapas en el ciclo de mejoramiento genético forestal.....	7
Figura 4. Estrategia de mejoramiento con identificación y selección de las mejores procedencias.....	8
Figura 5. Fases de mejoramiento genético.....	10
Figura 6. Mapa de ubicación de los ensayos.....	28
Figura 7. Códigos de forma de fustes.....	30
Figura 8. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los seis meses.....	36
Figura 9. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los seis meses.....	37
Figura 10. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los doce meses.....	40
Figura 11. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los doce meses.....	41
Figura 12. Gráfico de medias de la variable DAP en centímetros a los doce meses.....	42
Figura 13. Gráfico de medias de la variable DAP en centímetros a los doce meses.....	42
Figura 14. Gráfico de medias de la variable Vol./ha. en metros cúbicos a los doce meses.....	43
Figura 15. Gráfico de medias de la variable Vol./ha. en metros cúbicos a los doce meses.....	44
Figura 16. Gráfico de la distribución de los porcentajes de forma por material evaluado en el ensayo 1.....	45
Figura 17. Gráfico de la distribución de los porcentajes de forma por material evaluado en el ensayo 2.....	46

ADAPTABILIDAD DE PROGENIES DE *Eucalyptus* DURANTE EL PRIMER AÑO; SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la finca Chilax, que se localiza en el municipio de San Juan Chamelco, del departamento de Alta Verapaz durante el período comprendido entre los meses de septiembre del año 2015 a septiembre del año 2016. El objeto principal fue evaluar la adaptabilidad y el crecimiento de cuarenta y ocho progenies de *Eucalyptus urophylla*, durante el primer año de establecimiento de la plantación. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), con 12 repeticiones. Como parte del estudio se evaluaron las siguientes variables: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, volumen por hectárea, sobrevivencia y el desarrollo fenotípico. Al finalizar el período de evaluación, los resultados obtenidos son: para la altura total oscila entre 0.72 m hasta 1.49 m y se encontraron diferencias estadísticamente significativas, el crecimiento en DAP oscila entre 0.41 y 0.83 cm, en la variable sobrevivencia, todos los materiales evaluados presentan un porcentaje por arriba del 80%. La progenie 35 presentó el mayor crecimiento estadístico significativo. La productividad de volumen se ubicó entre 0.10 y 1.03 m³/ha. En relación al desarrollo fenotípico los materiales evaluados alcanzaron el 75% de fustes rectos. Es importante indicar que los resultados del presente estudio confirmaron la hipótesis alterna establecida al inicio de la investigación, en virtud que algunas progenies presentaron crecimientos diferentes estadísticamente significativos a comparación de otras. El presente documento aporta datos e información que podrá ser utilizado para investigaciones futuras, relacionadas con el mismo tipo de materiales vegetales.

ADAPTABILITY OF *Eucalyptus* PROGENIES DURING THE FIRST YEAR; SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ

SUMMARY

The present investigation was carried out in the Chilax Farm, which is located in San Juan Chamelco Township, Alta Verapaz during the period from September 2015 to September 2016. The main objective was to evaluate the adaptability and growth of forty eight progenies of *Eucalyptus urophylla* during the first year of planting. A completely randomized experimental block design (DBCA) was used, with 12 replicates. As part of the study, the following variables were evaluated: diameter at breast height (DAP), total height, volume per hectare, survival and phenotypic development. At the end of the evaluation period, the results obtained are: for the total height oscillates between 0.72 m and 1.49 m, and statistically significant differences were found, the growth in DAP oscillates between 0.41 and 0.83 cm, in the survival variable, all materials evaluated have a percentage above 80%. Progeny 35 had the highest significant statistical growth. The volume productivity was between 0.10 and 1.03 m³ / ha. In relation to the phenotypic development, the evaluated materials reached 75% of straight shafts. It is important to indicate that the results of the present study confirmed the alternative hypothesis established at the beginning of the investigation, since some progenies presented different statistically significant growths compared to others. This document provides data and information that may be used for future research, related to the same plant materials type.

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los países que desarrollan programas de plantaciones forestales han iniciado acciones de mejoramiento genético, no solo a nivel de procedencias sino también a nivel de familias e individuos, el mejoramiento forestal empezó en las zonas templadas en la década de los treinta y rápidamente se expandió a las zonas subtropicales y posteriormente a las regiones tropicales (Roulund y Olesen, 1992).

El mejoramiento genético forestal aplica los principios básicos de la genética al manejo de las especies forestales; dentro de sus objetivos fundamentales se encuentran el aumento de la productividad y la adaptabilidad de dichas especies, así como la conservación a largo plazo de la diversidad genética existente (Sotolongo, 2010).

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2014), calcula que unos 2,400 millones de personas, alrededor del 40% de la población de los países menos desarrollados, utilizan combustible de madera para cocinar, además, es posible que de estos 764 millones también utilicen combustible de madera para hervir el agua.

Las especies del género Eucalipto, brindan una gama de ventajas, desde varios puntos de vista tanto ecológicos como económicos, contribuyendo a la diversificación forestal y adaptándose a diferentes tipos de sitio.

El Instituto Forestal (INFOR, 2015) dice que la aplicación de la mejora genética en especies de Eucalipto, tiene como misión lograr una mejor adaptabilidad a las condiciones de clima y suelo, presentes en zonas templadas del país también permitirá tener ciclos cortos de cosecha, que anteriormente no se obtenían con ninguna otra especie. La selección de genotipos resistentes a las condiciones del área de distintas especies de Eucalipto, permitirá en principio información nueva referente a recursos forestales, incrementando la disponibilidad de productos y subproductos, otros beneficios sociales y ambientales.

En consideración a lo anteriormente expuesto, se puede determinar que, es de mucha importancia iniciar con investigaciones y ensayos de materiales vegetales del género Eucalipto en las diferentes regiones de Guatemala, para poder evaluar el crecimiento y desarrollo que estos obtendrían.

Uno de estos es el establecimiento de los ensayos de mejoramiento genético que se realizó en la finca Chilax, del municipio de San Juan Chamelco, del departamento de Alta Verapaz, el cual consta de un diseño experimental de bloques completamente al azar, donde se evaluaron cuarenta y ocho progenies del género eucalipto, distribuidos en doce repeticiones. Con este experimento se buscó identificar cuál de las progenies alcanzarían los más altos valores de crecimiento en el primer año, para empezar a notar una tendencia de cuál o cuáles mostrarán los mejores resultados bajo las condiciones de una zona de vida determinada. Al finalizar este período de mejoramiento genético (de 7 años), se seleccionarán los mejores árboles para darle paso a la siguiente etapa que es iniciar la reproducción de materiales vegetales procedentes de estos individuos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS

2.1.1. Dendroenergía

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2008) la dendroenergía puede producirse a partir de diversos sistemas de producción de madera en uso. Los residuos madereros, dado su valor relativamente bajo y la cercanía de los lugares de producción de los en que se realizan las operaciones forestales, ofrecen las mejores oportunidades inmediatas para la generación de energía a través de estos.

2.1.2. Familia

De acuerdo con Roulund y Olesen (1992), es un grupo de individuos derivados del mismo árbol.

2.1.3. Individuo

“Es un genotipo derivado de reproducción sexual, también un individuo se puede clonar vía propagación vegetativa y producir arboles genéticamente idénticos” (Roulund y Olesen, 1992).

2.1.4. Progenie

“Conjunto de individuos que resultan de la reproducción sexual o asexual” (FAO, 2007).

2.1.5. Clon

Para FAO (2007) es una planta genéticamente idéntica, obtenida por propagación vegetativa de un individuo que fue seleccionado.

2.1.6. Heredabilidad

Para Mesen (2007) es un valor que expresa el grado en el cual los padres transmiten sus características a sus descendientes y es primordial para estimar la ganancia genética en programas de selección.

2.2. MEJORAMIENTO GENÉTICO

Según Sotolongo (2010) es el proceso de manejo de los recursos genéticos. A través de este proceso el monto o cantidad y la organización de la variabilidad genética de una población en particular es manejada por ciclos recurrentes de selección y mejora. Su finalidad es el aumento de la productividad.

2.2.1. Mejoramiento genético forestal

El mejoramiento genético forestal es la conjugación de la genética, como herramienta de identificación y aislación de rasgos de interés (altura, forma, densidad de la madera, etc.) y los tratamientos silviculturales, siendo estos últimos los que potencian la expresión de dichos rasgos, lo anterior se traduce en la obtención de la máxima rentabilidad del suelo-bosque (Espina, 2006).

El mejoramiento genético forestal aplica los principios básicos de la genética al manejo de las especies forestales; dentro de sus objetivos se encuentran el aumento de la productividad y la adaptabilidad de dichas especies, así como la conservación a largo plazo de la diversidad genética existente (Sotolongo, 2010). Los pasos del mejoramiento genético se muestran en la Figura 1.

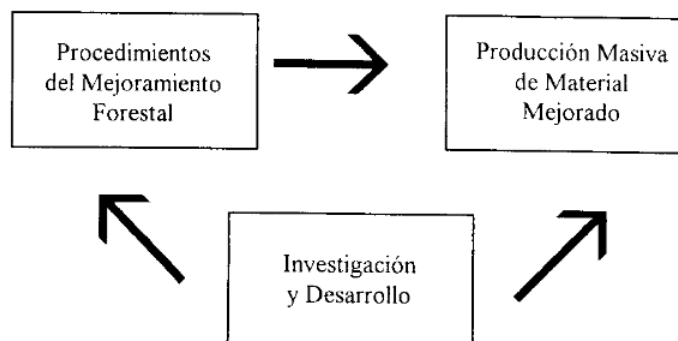


Figura 1. Pasos del mejoramiento genético forestal.

Fuente: Barner, 1992.

a) Beneficios del mejoramiento genético forestal

Según Cornelius (1998), los beneficios de mejorar la cantidad o calidad del producto son obvios, es importante destacar que un aumento en productividad puede ser aprovechado de varias maneras, por ejemplo, en una reducción del turno, en una menor área plantada (en el caso de plantaciones industriales establecidas con el fin de producir una cantidad relativamente constante cada año), o bien en una mayor productividad en la misma área. También el rápido crecimiento inicial puede reducir los costos durante la fase de establecimiento. Por otra parte, el mejoramiento de la calidad del producto puede reducir los costos operacionales; arboles más rectos son más fáciles de transportar y procesar.

b) Limitaciones del mejoramiento genético forestal

De acuerdo con Barner (1992), el desconocimiento de estas puede crear falsas expectativas que resulten en el establecimiento de planes y programas inapropiados.

Las condiciones ambientales

El manejo silvicultural

El estado de la tecnología y falta de conocimiento

La naturaleza de los árboles

Limitaciones inherentes

c) Esquema del programa de mejoramiento forestal

En principio, el mejoramiento forestal empieza con la selección, puede ser necesario comenzar con exploración incluyendo estudios botánicos y de otro tipo, para determinar donde se puede encontrar material adecuado para la selección. Cuando se tienen los resultados de los primeros ensayos, el trabajo se puede concentrar en las mejores fuentes de semillas

evaluadas, tanto para la producción directa de semilla como para el mejoramiento posterior, como se muestra en la Figura 2. Los siguientes pasos en el trabajo de mejoramiento se pueden realizar así sobre una base más segura que la de la fase inicial, es de vital importancia incluir un componente de conservación en los programas de mejoramiento (Cornelius, 1998).

Investigación de apoyo y desarrollo	Métodos de mejoramiento forestal	Producción masiva de material mejorado
Información botánica Estructura genética	1. Exploración Estudios de campo	
Criterios de selección definidos según objetivos	2. Identificación de material básico que cumpla con los criterios mínimos establecidos para fuentes de semilla.	Recolección de semilla de fuentes identificadas para uso directo
Criterios de selección Caracteres a combinar Número de árboles a seleccionar. Biología de la semilla. Técnicas de propagación.	3. Selección y conservación Selección de que parece estar en bien adaptado y ser superior. Conservación de fuentes semilleras promisorias o en peligro.	Recolección de semilla de fuentes seleccionadas, aún no evaluadas, para uso directo.
Parámetros genéticos Caracteres a evaluar Diseño experimental Análisis y evaluación	4. Prueba y evaluación Material seleccionado para ser evaluado en ensayos comparativos en sitios potenciales de plantación. Recomendación para la selección de fuentes semilleras.	Recolección de semillas de fuentes evaluadas superiores, para uso directo.
Criterios de selección Biología de la semilla Técnicas de propagación Parámetros genéticos Diseño experimental	5. Selección y evaluación continua De material superior en los sitios experimentales. Selección recurrente en las siguientes generaciones. Recomendaciones para la selección de fuentes semilleras.	Recolección de semillas de fuentes evaluadas superiores, para uso directo.
Biología de la semilla Técnicas de propagación Diseño, establecimiento y manejo	6. Establecimiento de fuentes mejoradas Para mejoramiento posterior y conservación	Establecimiento de rodales semilleros, huertos semilleros, banco clonales, etc.

Figura 2. Esquema de un programa de mejoramiento genético forestal.

Fuente: Barner, 1992.

2.2.2. Estrategia de mejoramiento

Para Mesen (2007), una estrategia de mejoramiento genético forestal es un conjunto de acciones dirigidas a abastecer germoplasma en cantidad y calidad suficiente al menos costo y en el menor tiempo posible, a la vez asegura la posibilidad de mejoramiento continuado en el largo plazo. Las estrategias de mejoramiento pueden ser realizadas con menor o mayor

intensidad, dependiendo básicamente de la importancia de la especie, sus características silviculturales, biológicas y genéticas, y la disponibilidad de recursos.

2.2.3. El ciclo de mejoramiento genético

Con la finalidad de cumplir en forma eficiente con las metas a corto y largo plazos Sotolongo (2010), dice que las actividades de un programa de mejoramiento genético se estructuran en lo que se denomina el ciclo del mejoramiento genético. Como se observa en la Figura 3, el punto de partida de todo el programa de mejoramiento genético, es la variabilidad genética original de la población. De esta población base se seleccionan los individuos o genes que reúnen las características de interés y se multiplican en forma intensiva para capturar el beneficio de árboles que serán cultivados en las plantaciones comerciales.

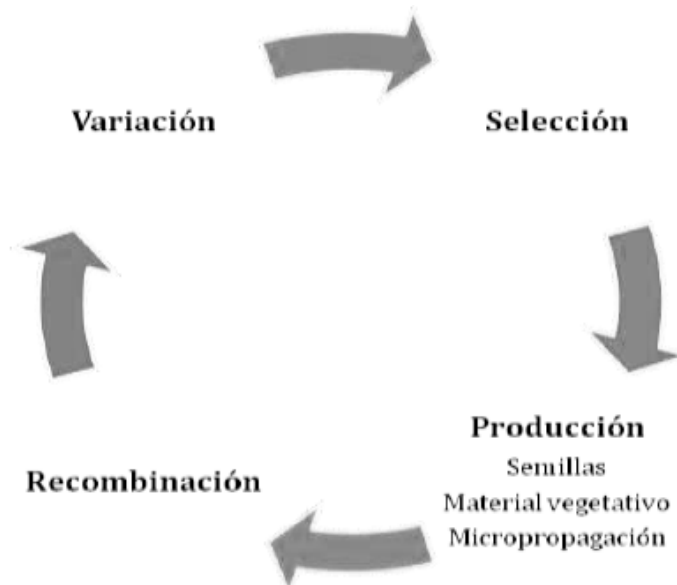


Figura 3. Etapas en el ciclo de mejoramiento genético forestal.

Fuente: Sotolongo, 2010.

2.2.4. La estrategia y el plan de mejoramiento genético

Las etapas de una estrategia muy simplificada del trabajo del mejorador forestal para alcanzar el suministro del material de plantación

genéticamente mejorado, se visualizan en la Figura 4, estas etapas consisten de muchas actividades: cosecha de semillas, desarrollo del vivero, preparación de injertos y estacas, plantación y medición de prueba de progenie, análisis estadísticos, interpretación de resultados, preparación de informes y planes para años futuros (Sotolongo, 2010).

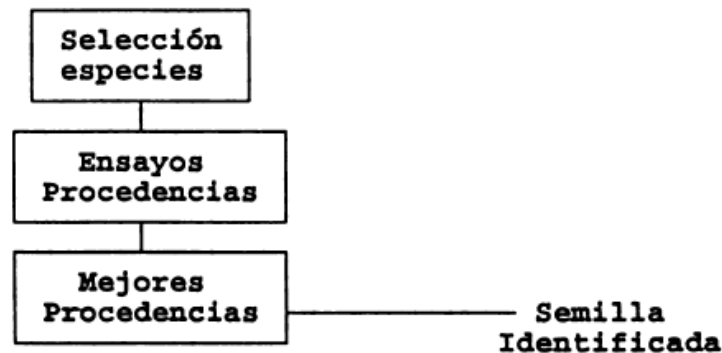


Figura 4. Estrategia de mejoramiento con identificación y selección de las mejores procedencias.

Fuente: CATIE, 1994.

2.3. ETAPAS EN EL CICLO DE MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL

2.3.1. Plan de mejoramiento

Según Wellendorf (1991), es importante elaborar planes a largo plazo que incluyan varias generaciones. El plan debe ser suficiente flexible y sólido para incorporar cambios en la política forestal, métodos silviculturales e innovaciones en genética y métodos de propagación.

2.3.2. Selección de individuos

Basta con recorrer cualquier plantación para darse cuenta de que existe una gran variabilidad entre los diferentes individuos, ocasionalmente aparece uno que nos llama la atención por sus características sobresalientes, solo aquellos árboles que cumplan ciertos requisitos preestablecidos son admitidos en el programa de mejoramiento, de manera

que al final, cada árbol admitido ha sido seleccionado entre varios miles de individuos observados (Mesen, 2007).

2.3.3. Selección fenotípica

En mejoramiento genético forestal, Roulund y Olesen (1992) dicen que se usa tanto selección fenotípica como selección genética. La selección fenotípica se usa casi siempre en las primeras etapas del programa de mejoramiento, en las primeras etapas se selecciona un número determinado de árboles con base en su apariencia fenotípica, tomando en cuenta específicamente los caracteres seleccionados para el programa de mejora.

2.3.4. Selección genotípica

“La selección genotípica se efectúa con base en el valor genético de las familias o individuos, el cual se estima mediante ensayos de progenie o clónales. Los resultados de estos ensayos forman la base para calcular la heredabilidad” (Wellendorf, 1992).

2.3.5. Ensayos de progenie y ensayos clónales

Según Mesen (2007), un árbol origina descendencia superior prueba que su apariencia superior en la plantación era intrínseca y no debida a otros factores externos, se establecen bajo un diseño experimental adecuado que garantice que las diferencias observables entre las descendencias sean mayormente genéticas.

Los ensayos de progenie se realizan con los siguientes objetivos:

Estimar el valor de cruce y la aptitud combinatoria general de los padres.

Estimar la heredabilidad de ciertos caracteres.

Calcular la aptitud combinatoria específica

Estimar el valor genético de las progenies

Crear nuevas generaciones de las poblaciones de mejoramiento.

2.3.6. Huertos semilleros

De acuerdo con Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE (1994), son plantaciones establecidas en áreas de fácil acceso, de topografía y condiciones edáficas apropiadas, que faciliten el manejo y la recolección de semilla, aisladas para reducir la contaminación de polen de árboles inferiores y manejadas intensivamente para favorecer la producción rápida y abundante de semilla.

2.3.7. Propagación vegetativa

La propagación vegetativa (por injertos o estacas) de materiales seleccionado, la constitución genética del árbol “padre” se mantiene en la “descendencia”. Esto significa que el material seleccionado se puede trasladar a sitios adecuados (por ejemplo, bancos clonales), para desarrollar trabajos adicionales de mejoramiento o para cruzarlo con otro material seleccionado, como se observa en la Figura 5. También es posible mediante la propagación vegetativa producir en grandes cantidades individuos con características deseables (Roulund, 1992).

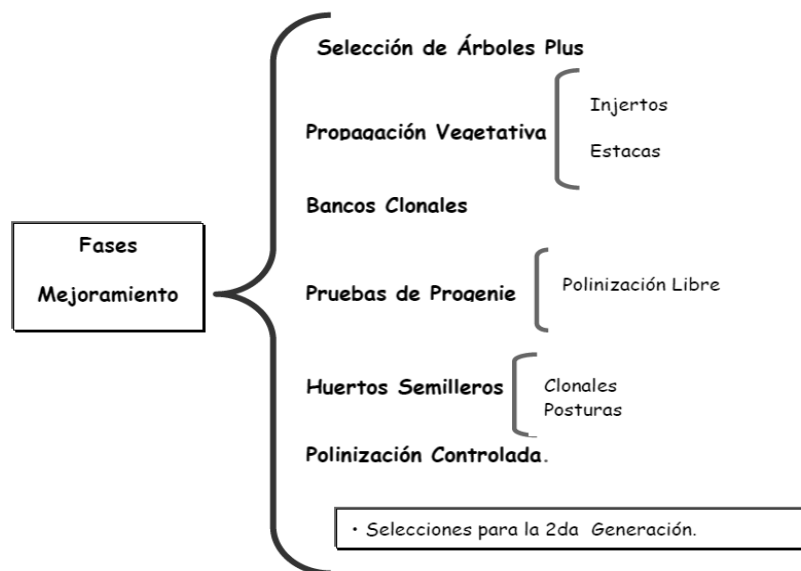


Figura 5. Fases de mejoramiento genético.

Fuente: Sotolongo, 2010.

2.4. MÉTODOS PARA DESARROLLAR PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO FORESTAL

2.4.1. Mejoramiento genético a nivel de especies y procedencias sin evaluación de la descendencia

a) Nivel de especies

Recopila información sobre las especies de interés para el ambiente dado. Basado en la experiencia local y general, se selecciona un número limitado de especies que cumplen con los requisitos para las características del sitio y los objetivos de la plantación. Inicialmente se recolecta y usa semilla local. Si no existe información experimental la fuente local es la más segura, aunque no necesariamente la mejor para los objetivos de plantación (Keiding, 1992).

b) Nivel de procedencias en bosque naturales y plantaciones

Para Barner (1992), las zonas ecológicas son unidades grandes y las recolecciones dentro de una zona, se realizan anualmente en diferentes sitios o distribuidos más o menos de una manera aleatoria. Para asegurar que las recolecciones individuales están localizadas exactamente, se recomienda definir y usar pequeñas unidades de recolección identificadas, aunque estas pueden ser solo de una calidad promedio, para obtener una mejor calidad, seleccione fuentes con una apariencia superior al promedio (fuentes seleccionadas) y concentre las recolecciones entre ellas, para lograr una mayor producción de semilla, se deben convertir en áreas de producción de semillas, las fuentes jóvenes y promisorias, mediante una reducción en el número de árboles, eliminando los que presentan las peores características.

2.4.2. Mejoramiento genético a nivel de especie, combinado con la prueba, selección y establecimiento de fuentes semilleras mejoradas

La selección de las especies se puede basar en la experiencia o en resultados de ensayos de eliminación de estas, Pedersen (1992), también

describe, que en los experimentos que se prueban, algunas pocas fuentes de varias especies al mismo tiempo, en los ensayos de especies es importante elegir un número limitado pero suficiente de fuentes de semilla de cada especie que sea en lo posible representativo de la variación genética de las especies en adaptabilidad y otras características.

Roulund y Olesen (1992), consideran que después de la realización de los ensayos, algunas especies se pueden considerar indeseables y se eliminan. Otras especies se consideran deseables y se pueden usar directamente en nuevas plantaciones, para el abastecimiento futuro de semillas y para mejoramiento genético. Los mejores rodales de las especies probadas se pueden usar para el abastecimiento de semilla.

2.4.3. Mejoramiento genético a nivel de procedencias, combinado con la prueba, selección y establecimiento de fuentes semilleras mejoradas

De acuerdo con Keiding (1992), en los ensayos de procedencias se prueban muchas fuentes de semilla de las especies más promisorias. Los ensayos de procedencias son una herramienta esencial para evaluar la magnitud de la variación dentro de una especie. Al mismo tiempo se pueden identificar fuentes promisorias para el abastecimiento inmediato de programas operativos y suministra información sobre fuentes (poblaciones), superiores en las cuales efectuar posteriores selecciones. Los ensayos de procedencias son de gran importancia para el progreso en las primeras etapas del mejoramiento forestal.

Según Barner y Keiding (1990), después de identificar fuentes superiores a través de ensayos de procedencias, se procede al establecimiento de rodales de dichas fuentes para el abastecimiento de semilla y como base para futuras selecciones, estos rodales, pueden tener uno o varios de los siguientes objetivos:

Proveer suficiente semilla de una buena fuente.

Asegurar un aislamiento suficiente para evitar la contaminación con polen de fuentes inferiores.

Asegurar la protección y conservación de fuentes originales que se encuentran en peligro de deterioro o de extinción.

2.4.4. Mejoramiento forestal a nivel de árbol individual, combinado con prueba y cruzamiento

Para Barner (1992), principalmente la variación entre árboles dentro de una población es exagerada y puede ser de mucha utilidad concentrar la recolección en solo los árboles más sobresalientes, este procedimiento generalmente es más caro requiere una mayor área de recolección que las colectas tradicionales para lograr una determinada cantidad de semilla, los árboles plus se pueden seleccionar dentro de zonas ecológicas importantes o en fuentes que han probado ser superiores al promedio. La selección de árboles plus en fuentes semilleras probadas ha demostrado ser de gran importancia en el mejoramiento genético forestal.

La meta de la selección de especies, procedencias y arboles es usar los mejores genotipos disponibles en la naturaleza, las técnicas de cruzamiento específico buscan crear genotipos nuevos a través de la cruce controlada entre padres, combinando así propiedades deseables de especies, procedencias o individuos (Roulund y Olesen, 1992).

2.5. EUCALIPTO

“El género *Eucalyptus* fue descrito en 1788, por Charles Louis L'Heritier de Brutelle. Perteneciendo a la familia de las Mirtaceas, el género incluye aproximadamente 600 identificaciones, entre las especies, variedades y híbridos” (Boland, 1992).

Restrepo (2010), nos dice que el género se distingue por su copa ligera con ramas erectas, la forma ovalada de sus hojas sésiles -sin pedúnculo- y de color grisáceo, en etapa joven, o azul brillante, en edad adulta y por el agradable olor que éstas despiden; haciéndoles propicias como

desinfectantes o aromatizantes. En estado de florecimiento, el cáliz de Eucalipto descubre sus estambres y el pistilo dando como resultado flores solitarias de atractivo color blanquecino o rojizo y que, al abrirse, despiden estambres de color amarillo. Su fruto, también solitario, está recubierto de una tapa azulada que contiene las semillas.

Generalmente, el Eucalipto es un árbol de larga vida, cuya regeneración natural se efectúa por semillas y puede darse en suelos pobres con poca retención de agua, pero para su crecimiento requiere de buenas condiciones de luz y preferiblemente, terrenos en donde sólo se cultive la especie (Restrepo, 2010).

Según Haston, Richardson, Stevens, Chase & Harris (2009), APG III, clasifican al *Eucalyptus urophylla* de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Clado: Agiosperma

Clado: Eudicotas

Clado: Rosides

Clado: Eurosides II

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *Eucalyptus urophylla*

Según Energía y Celulosa S.A. (ENCE, 2006), el eucalipto es un árbol originario de Tasmania, Australia y otras islas cercas. Existen cerca de 700 especies de eucalipto, todas ellas de gran valor medioambiental, de las cuales unas 37 tienen interés para la industria forestal y apenas 15 son

utilizadas con fines comerciales. El eucalipto comenzó a ser utilizado en plantaciones fuera de su área de distribución natural hace más de 200 años en Europa. Fueron botánicos europeos, los descriptors del género y de sus principales especies. El primer registro del eucalipto en la Península Ibérica data de 1829 en Portugal. En Estados Unidos se introdujo a mediados del siglo XIX por el flujo migratorio con Nueva Zelanda y Australia, que a su vez supuso la introducción del pino en Australia.

Para Flynn y Neilson (2006), hoy en día el eucalipto se extiende sobre más de 22 millones de hectáreas en todo el mundo (a las que habría que añadir más de 11 millones de bosque nativo de eucalipto en Australia), lo que representa el 12% de las plantaciones forestales mundiales. Sin embargo, se estima que no más de 13 millones de hectáreas de estas plantaciones tienen realmente productividad de interés industrial.

2.5.1. Características botánicas de eucalipto

a) Corteza

Para Borralho y Nieto (2012), la corteza sobre las ramas jóvenes de un árbol maduro es lisa, mientras que, en la parte inferior del tronco, hasta unos pocos metros del suelo, el ritidoma se vuelve más o menos persistente y profundamente surcado.

b) Hojas

Las hojas de la mayoría de las especies de eucalipto varían, FAO (1987), dice que a veces en forma notable, desde la plántula al árbol maduro. Las hojas son elementos importantes para la identificación.

c) Inflorescencia

Según FAO (1987), la característica sobresaliente de cada flor de Eucalyptus es la presencia de un opérculo que se presenta con tres variaciones. Su naturaleza esencial fue reconocida por primera vez por Robert Brown, a principios del pasado siglo.

d) Fruto

La identificación de los frutos de eucalipto, ha dado origen a interminables comparaciones con objetos extraños, y es conveniente poner a esto un límite razonable. El fruto se forma con el desarrollo del hipantio y del ovario inferior adherido. La parte superior del fruto consiste en cuatro segmentos (FAO, 1981).

e) Semilla

La semilla es corrientemente viable cuando las cápsulas cambian de color verde a pardo, si los frutos o las ramas se desprenden del árbol, las valvas, que mantienen las semillas en las cápsulas se abren en el curso de horas o de días, y dejan caer la semilla, junto con los óvulos no fertilizados (ENCE, 2009).

2.5.2. El Eucalipto en la actualidad

Actualmente el eucalipto, está presente en más de 90 países, la mayoría en zonas tropicales y subtropicales, aunque existen plantaciones de gran productividad en zonas templadas de Nueva Zelanda, Chile, Argentina, Brasil, Uruguay, Sudáfrica, la Península Ibérica y Estados Unidos. La razón de esta dispersión es el gran número de especies y, por tanto, de tolerancia a condiciones ecológicas diferentes, hoy en día el eucalipto para ENCE (2009), se extiende sobre más de 22 millones de hectáreas en todo el mundo (a las que habría que añadir más de 11 millones de bosque nativo de eucalipto en Australia), lo que representa el 12% de las plantaciones forestales mundiales. Sin embargo, se estima que no más de 13 millones de hectáreas de estas plantaciones tienen realmente productividad de interés industrial.

2.6. PLANTACIONES FORESTALES CON FINES ENERGÉTICOS

Según Restrepo (2010), los cultivos forestales energéticos son plantaciones forestales cuyo periodo de cosecha se limita a dos o tres años, según la

especie. Su gestión es prácticamente idéntica a la de cultivos forestales para otras aplicaciones industriales.

A nivel nacional según, el Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2017), en Guatemala se establecieron 4,960.89 hectáreas de *Eucalyptus sp* con fines energéticos.

2.7. CLONES

2.7.1. Ensayos clónales

Los ensayos clónales según Mesen (2007), se realizan con los siguientes objetivos:

Estimar el valor genético de los clones.

Estimar la heredabilidad en sentido amplio de determinados caracteres de interés.

2.7.2. Jardín clonal

Es uno de los componentes principales de todo el sistema de reforestación clonal. Este debe verse como un cultivo que será manejado en un sistema de producción muy intensivo, que requiere por tanto de buenas prácticas silviculturales y un manejo adecuado del estado nutricional de las plantas. En el jardín clonal se tiene la colección completa de los árboles plus seleccionados originalmente. Cada árbol plus ha sido entonces propagado a partir de sus brotes en el tocón o a partir de otras partes vegetativas (Badilla & Murillo, 2005).

2.7.3. Silvicultura clonal

Muchos programas han optado por el uso de clones directamente en plantaciones operacionales, con material generado de los árboles seleccionados, este sistema tiene la ventaja de que produce mayor ganancia genética que un programa tradicional por semilla, porque las características del árbol superior se reproducen íntegramente en todos sus descendientes (Mesen, 2007).

2.8. ESTUDIOS REALIZADOS EN OTROS PAÍSES

Según Fernández y Díaz (1999), un ensayo de progenies de *Juglans regia* en Galicia, península Ibérica, España, se estableció a principios de 1999, sólo se incluyeron 24 de los 74 árboles superiores, la supervivencia media de todo el ensayo de progenies fue 68%. Este resultado de la supervivencia es debido, principalmente, a la mortalidad causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi*, que se halla presente en el sitio. La altura media total al final del primer periodo vegetativo fue de 13,89 cm.

En Brasil Schenone (2002), encontró que ensayos de progenie de *Eucalyptus dunnii* Maiden, fueron instalados en las localidades de Ipatinga y Guanhães, Brasil, en un diseño de bloques de familias compactas con diez repeticiones y parcelas lineales de seis plantas. Las variables estudiadas fueron: crecimiento en altura (HT), diámetro a la altura del pecho (DAP), volumen cilíndrico (VOL), a los 40 meses en la localidad de Guanhães. Los valores de crecimiento pueden ser considerados altos, al ser comparados con los resultados obtenidos por otros autores. Los valores obtenidos fueron de 9,48 cm para DAP, 12,60 m para HT y 0,109 m³ para VOL.

En Veracruz México, Alba (2005) describen que se estableció un ensayo de progenies de *Pinus Oaxacana*, en un diseño experimental de campo de ocho bloques completos con un arreglo aleatorio, la supervivencia inicial de la especie a los tres meses de establecido el ensayo en campo fue: 95.5% de supervivencia para las procedencias de Los Molinos; 97.4% para Los Humeros y 98.8% para Derrumbadas; se obtuvieron los resultados que demuestra que las familias obtenidas como resultado de la colecta de semillas procedentes de diferentes fuentes de origen, manifiestan repuestas distintas.

Varios ensayos fueron establecidos en el área conocida como Noche Buena, dentro de la finca experimental del CATIE, en Turrialba, Costa Rica, utilizando *Eucalyptus deglupta*, según Mesen (2007), encontrándose diferencias altamente significativas entre familias para las 3 variables

evaluadas, 14,6 m para altura y 13,4 cm para DAP, lo que equivale a incrementos medios anuales (IMA) de 3,8 m y 3,5 cm respectivamente, mientras que la mejor familia presentó IMA de 4,3 m en altura y 4,3 cm en DAP y en los ensayos de *Eucalyptus grandis*, se encontró diferencias altamente significativas entre familias para las 3 variables evaluadas, 21,6 m para altura y 20,1 cm para DAP, lo que equivale a un IMA de 4,9m y 4,5 cm respectivamente. El IMA para la mejor familia fue de 5,3m en altura y 6,1 cm en DAP, lo que muestra el potencial de crecimiento de esta especie.

En septiembre del año 2000, dos pruebas de progenie de 49 genotipos de *Eucalyptus cladocalyx*, fueron establecidas en Coquimbo, Chile, para el Instituto Forestal de Chile (INFOR, 2011), los resultados mostraron sutiles diferencias en el comportamiento de las distintas procedencias, registraron sobrevivencia sobre el 80%, las alturas y DAP medios de las diferentes procedencias de *E. cladocalyx* registradas, resultaron en un sitio 26% y 43% más alto que en el otro.

2.9. ESTUDIOS REALIZADOS EN GUATEMALA

De los pocos estudios desarrollados en nuestro país, podemos mencionar el que se realizó para estimar la biomasa y la fijación de carbonó en plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, en Siquinalá Escuintla, según Montepeque (2007), cuyos hallazgos destacan en los DAP entre 9 y 15 cm pertenecen a los individuos de 4 años de edad, que muestran un comportamiento de biomasa por debajo de los 100 kg. Los de DAP de 16 cm – 23 cm mostraron comportamientos similares con los de DAP de 17.5 cm – 21 cm que son de 6 años y 8 años respectivamente, los de 6 muestran una biomasa que está debajo de los 400 kg. En el caso de los árboles de 15 años en donde sus DAP's se ubicaron entre los 18 cm a 32 cm, la biomasa está entre los 400 kg a 700 kg y también se estimó que las plantaciones de 4, 6, 8 y 15 años de edad, fijaron 13.83, 43.69, 38.06 y 79.89 tC/ha; respectivamente.

Daetz (2015), que evaluó 12 materiales, procedentes de semilla y clones de Eucalipto en Lanquín, Alta Verapaz, el análisis estadístico de volumen por hectárea a los doce meses, no presentó diferencias estadísticamente significativas, lo que indica que los materiales evaluados se comportaron de manera similar, de acuerdo con los datos obtenidos de 3 clones, dichos poseen medias iguales o mayores a 4.3 metros de altura durante el primer año. Las mejores medias obtenidas en DAP durante el periodo de tiempo evaluado son superiores a los 5.50 centímetros aportadas por 3 clones. Los porcentajes de sobrevivencia para los materiales evaluados se vieron afectados por alta pedregosidad en algunas áreas del ensayo y al ataque de *Geomidae spp*, esto provocó varianzas altas en las variables evaluadas.

En la finca Sacsuja, La Tinta, Alta Verapaz, De la Vega (2016), evaluó el crecimiento de materiales genéticos de *Eucalyptus urophylla*. Se realizó un experimento con diseño de bloques al azar en el que se utilizaron 10 clones de *Eucalyptus urophylla* y dos materiales provenientes de semilla de *E. urophylla* y *E. camaldulensis*. Se evaluaron las variables de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), Altura, Volumen y Porcentaje de Prendimiento, se realizaron mediciones a los 24 meses de haberse establecido el experimento, se evaluó también la variable de forma para todos los materiales. Según el análisis estadístico el tratamiento, que dio el mejor resultado fue el identificado como 1066, clon que estadísticamente presentó mejor acomodo en el campo. Las medias de las variables de crecimiento para éste clon fueron: 20.10 cm para DAP; 9.09 m para Altura y 0.94 volumen/parcela para volumen. Para la variable forma el clon CA-30 mostró los mejores fustes y en cuanto a prendimiento el tratamiento con semilla de *E. urophylla*.

Una investigación se realizó en las instalaciones del Campus San Pedro Claver SJ de la Universidad Rafael Landívar, ubicada en el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz. García (2016) evaluó la sobrevivencia a los 3, 6 y 12 meses, de cinco materiales clónales de *Eucalyptus urophylla*

ST. Blake, durante el primer año de establecimiento de la plantación. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 6 repeticiones. Los resultados obtenidos son: para sobrevivencia, todos los materiales clónales presentan un porcentaje por arriba del 85%; el crecimiento en DAP oscila entre 2.59 y 3.32 cm sin encontrar diferencias significativas; la altura total oscila desde 3.14 hasta 4.68 m, se encontraron diferencias significativas, por lo que estadísticamente se determinó que el clon 1214 presenta el mayor crecimiento con 4.68 m en un año. La productividad de volumen está entre 1.50 y 3.64 m³ ha⁻¹, y biomasa entre 0.73 y 1.77 toneladas ha⁻¹, no encontrando diferencias significativas para estas variables de productividad en los materiales evaluados.

En la finca San Isidro Choval, ubicada en el municipio de Cobán, Alta Verapaz, se estableció un ensayo de materiales de *Eucalyptus*, Wellman (2017), reporta que el objetivo principal fue la evaluación de la adaptabilidad y crecimiento en su primer año, utilizando clones y semillas del género eucalipto, durante su establecimiento. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), con 10 materiales y tres repeticiones. Los resultados obtenidos son: la altura total oscila entre 3.62 m hasta 3.89 m, el diámetro a la altura del pecho (DAP), oscila entre 1.47 cm hasta 2.84 cm, para volumen por hectárea (m³/ha), oscila entre 3.11 m³/ha hasta 12.81 m³/ha encontrado diferencia significativa para estas variables, la sobrevivencia es de un 100% para los tratamientos T4 (Clon 092) y T6 (Clon 108). Por lo cuál se determinó que el T4 (Clon 092) *Urophylla Pantaleón* presenta el mayor crecimiento y desarrollo para las variables establecidas siendo así el mejor clon.

Hun (2017) reportó los resultados obtenidos en el tercer año de desarrollo, mediante tres mediciones generales: dos años, dos años y medio y tres años del proyecto que se encuentra en las instalaciones del Campus San Pedro Claver de la Universidad Rafael Landívar, municipio de San Juan Chamelco, A.V. El objetivo general fue evaluar la adaptabilidad de los cinco

materiales genéticos de *Eucalyptus urophylla*, se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Las variables evaluadas fueron: diámetro a la altura del pecho, altura total, volumen por hectárea, sobrevivencia y formas de fuste. Según el análisis estadístico el mejor tratamiento fue el clon 966, mostrando en todas las variables diferencias significativas. Los resultados obtenidos fueron: el clon 966 presento un promedio de desarrollo de 11.06 centímetros DAP, altura total de 13.30 metros y productividad con media de 603.92 m³/ha. Sobrevivencia, todos los materiales presentaron un porcentaje arriba del 98.85% y la evaluación fenotípica en los materiales 966, 1084, 980 y 1214 presenta fustes rectos en un 100%.

En las instalaciones del Campus San Pedro Claver SJ de la Universidad Rafael Landívar, en el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Bin (2017), evaluó el crecimiento, desarrollo y productividad de cinco densidades de plantación del clon 1214, híbrido Urocal (*Urophylla* y *Camaldulensis*). Se implementó un ensayo con bloques completos al azar con 4 repeticiones y 5 tratamientos. Las variables evaluadas fueron: altura total (m), DAP (cm), volumen por hectárea (m³/ha), forma de fustes (recto, bifurcado, inclinado y sinuoso), y la sobrevivencia de cada material (%). Como resultado de la investigación se encontró diferencias estadísticamente significativas donde se destaca el tratamiento con un distanciamiento de 1 metro por 2 metros para la variable volumen por hectárea. El resultado para las variables DAP y Altura muestra que existen diferencias en cuanto a los distanciamientos de 1 metro por 2 metros y de 1 metro por 3 metros.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los beneficios socioeconómicos que brindan los bosques, es el uso de combustible de madera como fuente de energía. En la actualidad el consumo de dendroenergía es cada vez más evidente, sin embargo, se pretende y se busca sustituir la utilización de combustibles fósiles teniendo otras opciones de utilizar materiales que son renovables, con biomasa o leña proveniente de plantaciones establecidas con fines energéticos.

En el estudio de la dinámica forestal en Guatemala 2001-2006 se muestra una disminución de la superficie cubierta por los bosques a una tasa de 1.16% anual, según INAB (2011), la deforestación mencionada afecta de modo significativo al departamento de Petén; para Larrañaga y Flores (2012), uno de los motivos de la deforestación en el país es la utilización de leña, un total de 1, 992,430 hogares (69,6%), la utilizan para cubrir las necesidades térmicas de cocción, calefacción y agua caliente sanitaria.

El consumo actual en Guatemala, de biomasa con fines energéticos se estimó en 15,771,187 toneladas en base seca, equivalente a 32,330,933 metros cúbicos, Larrañaga y Flores (2012), según estos datos la alta demanda de productos y subproductos forestales, en el tema de leña, abre la puerta a la necesidad de crear plantaciones altamente productivas, esto podría ser posible sí y solo sí, se eligen correctamente las especies que cumplan con ciertos criterios ecológicos y económicos; también si se planifican programas de mejoramiento genético, que además de aumentar los rendimientos y la adaptabilidad a diversos factores climáticos, ayude a la conservación y ampliación de la base genética de dichas especies; las plantas del género Eucalipto tienen la capacidad de producir mayor volumen de madera por unidad de área en un ciclo relativamente corto.

En Guatemala cada vez se hace más urgente la necesidad de implementar estudios, investigaciones y/o ensayos de mejoramiento genético, para

evaluar el crecimiento de varias especies en diferentes áreas del país, para poder establecer resultados en el campo, tomando muy en cuenta que la calidad genética del material vegetal, es un factor que influye en el crecimiento y desarrollo del árbol.

Bajo las condiciones edafoclimáticas que predominan la región en que se encuentra ubicada La finca Chilax, no se cuenta con información local sobre el comportamiento de materiales vegetales procedentes de semillas, tampoco de pruebas de mejoramiento genético, para continuar con un proceso de mejoramiento genético que coadyuve esfuerzos en emplearlo de referencia para generar materiales que se adapten a diferentes zonas de vida.

3.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

A nivel mundial el mejoramiento genético está tomando auge, por los grandes beneficios que este trae consigo, un aumento en la producción y asegura el rápido crecimiento, la adaptabilidad de dichas especies y la conservación a un largo plazo de la diversidad genética existente.

Existen algunas especies que poseen características que son atractivas para estas plantaciones como son las del género Eucalipto, que tiene un crecimiento rápido (obtención de madera en un ciclo más corto de tiempo) y un alto poder calorífico, también estas tienen otras capacidades como el rebrote y una alta fijación de carbonó. Entonces, esto despierta la inquietud de realizar investigaciones, pruebas de mejoramiento genético para buscar que progenies del género Eucalipto mejor se adaptan a las distintas condiciones climáticas y edáficas que en el departamento de Alta Verapaz y país existen.

Según INAB (2017), en Guatemala, se establecieron 4,960.89 hectáreas con fines energéticos; estas plantaciones están tomando importancia, por los ciclos cortos de cosecha y fácil manejo.

Para Larrañaga y Flores (2012), la producción de dendroenergía en Guatemala, proveniente de las masas forestales, se estimó cerca de 8.5 millones de toneladas anuales en base seca, esto hace que el tema sea de suma importancia ya que, en el país, se está requiriendo una gran cantidad de esta, para satisfacer la demanda.

En la actualidad en Guatemala, no existen este tipo de estudios, lo que provoca que exista poca información en cuanto a datos, cifras y registros de este tipo de materiales vegetales. Lo anteriormente indicado crea la necesidad de llevar acabo más estudios para generar mayor información sobre la adaptabilidad, crecimiento y sobrevivencia de distintas progenies del género Eucalipto.

Con la evaluación de estos ensayos de progenies, se busca identificar cuáles son los materiales vegetales que presentarán un mejor crecimiento bajo condiciones climáticas de San Juan Chamelco y alrededores, así como crear un registro y establecer antecedentes de cuáles son los más aptos, para lograr con las siguientes etapas del mejoramiento genético, un beneficio a plantaciones y/o proyectos futuros, asegurando la propagación masiva de materiales con mejor calidad que garantizará plantaciones altamente productivas.

IV. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta de materiales de progenies, del género Eucalipto, bajo las condiciones de la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (Frío) Bmh-S(f), Finca Chilax, San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el crecimiento de cuarenta y ocho progenies, del género Eucalipto bajo las condiciones de la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (Frío) Bmh-S(f), Finca Chilax, San Juan Chamelco.

Estimar la productividad durante el primer año de establecimiento de cuarenta y ocho progenies, del género Eucalipto bajo las condiciones de la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (Frío) Bmh-S(f), Finca Chilax, San Juan Chamelco.

Determinar el desarrollo fenotípico de cuarenta y ocho progenies, del género Eucalipto bajo las condiciones de la zona de vida Bosque muy húmedo Subtropical (Frío) Bmh-S(f), Finca Chilax, San Juan Chamelco.

V. HIPÓTESIS

5.1. Hipótesis nula

Ninguna de las progenies del género Eucalipto alcanzará un crecimiento y productividad diferente estadísticamente significativo en comparación con otra progenie.

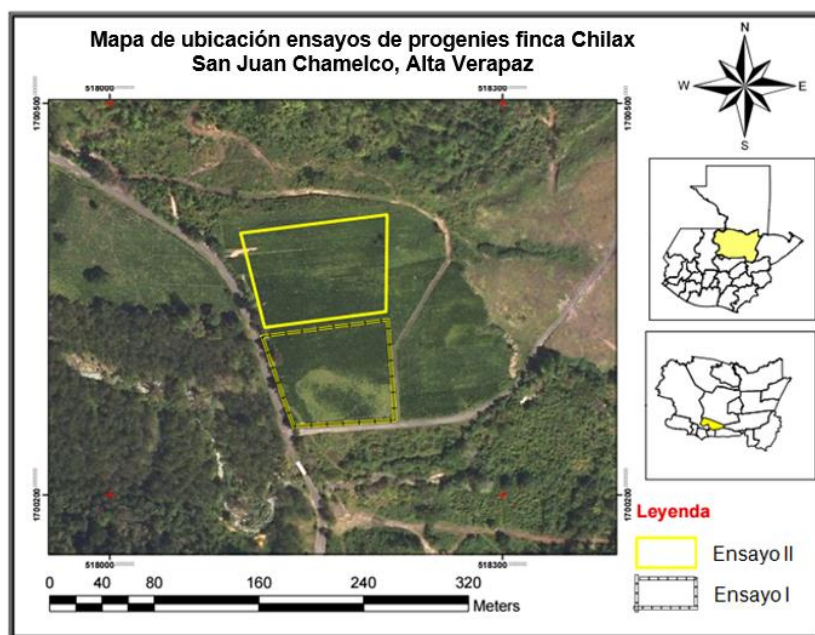
5.2. Hipótesis alterna

Al menos una de las progenies del genero Eucalipto alcanzará un crecimiento y productividad diferente estadísticamente significativo en comparación con otra progenie.

VI. METODOLOGÍA

6.1. LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

El experimento se realizó en la finca Chilax, que se localiza en el municipio de San Juan Chamelco, del departamento de Alta Verapaz, ubicada a 8 kilómetros del casco urbano.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Mapa de ubicación de los ensayos.

6.1.1. Zona de vida

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Guatemala, la plantación se ubica dentro de la zona de vida Bosque muy húmedo subtropical (Frío), Bm-h S(f) (MAGA, 2005).

6.1.2. Taxonomía de suelo

El suelo del municipio de San Juan Chamelco, según la clasificación taxonómica de Guatemala, pertenece a la orden de Andisol (MAGA, 2009).

URL-IARNA (2006), describe que estos suelos están desarrollados sobre ceniza volcánica, tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cc). Generalmente son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo. En condiciones de fuerte pendiente

tienden a erosionarse con facilidad. Una característica de los andisoles es su alta retención de fosfatos (arriba del 85%), la cual es una limitante para el manejo, por lo que se debe considerar en los planes de fertilidad cuando se someten a actividades de producción agrícola.

6.1.3. Características climáticas

El área donde fue establecida la plantación sujeta a estudio, se encuentra a una altitud de 1350 metros sobre el nivel del mar, las temperaturas oscilan entre 13° y 27° Centígrados, y una temperatura promedio de 20° Centígrados; la precipitación pluvial para esta región es entre 2,000 a 2,600 milímetros anuales. (INSIVUMEH- 2016).

6.2. FASE METODOLÓGICA

Para coleccionar los datos de altura total se utilizó una cinta métrica, el DAP de todos los individuos con un vernier digital siempre y cuando cumplieran con tener 1.30 metros de altura y se hizo un conteo de los árboles vivos para obtener la Supervivencia por material evaluado, todos los datos se registraron en la boleta de campo que se encuentra en el Anexo 4, después se ingresaron los datos obtenidos de las mediciones en una hoja de excel 2013 y luego analizarlos con la ayuda del software INFOSTAT.

Los datos de DAP de todos los individuos de los ensayos se tomaron con un vernier digital siempre y cuando cumplieran con tener 1.30 metros de altura y la variable altura total con una cinta métrica, habiendo obtenido estos datos se estimó el volumen de cada tratamiento, mediante el uso de ecuaciones para la estimación de volumen, esto realizado en una hoja de excel 2013 y luego analizados en el software INFOSTAT.

Se coleccionaron los datos del desarrollo fenotípico, utilizando como guía los códigos de forma de la metodología MIRA-SILV que está en el Anexo 1, los datos se registraron en la boleta de campo que se encuentra en el Anexo 4, después se procesaron en una hoja de excel 2013, donde se obtuvieron los porcentajes de formas de fustes de cada material evaluado.

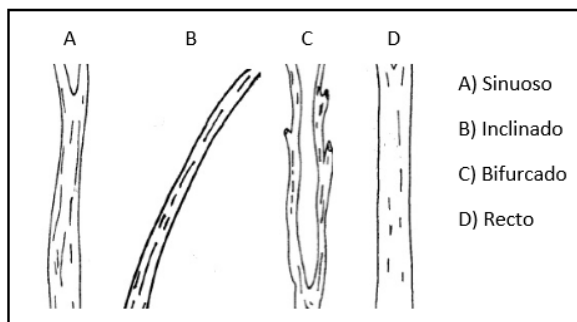
6.3. MATERIAL EXPERIMENTAL

En el estudio se evaluaron cuarenta y ocho progenies del género Eucalipto, de la especie *E. urophylla*, provenientes de la finca Monterrey, ubicada en el departamento de Guatemala. Los materiales evaluados son procedentes de semilla de cuarenta y ocho árboles superiores, la semilla fue colectada a los 5 años de edad, estos árboles están distribuidos en siete distintos sectores de la finca Monterrey, los materiales evaluados se describen en el Anexo 2.

6.4. VARIABLES A ESTUDIAR

Las variables a evaluar en el ensayo de mejoramiento genético son:

- a) Diámetro a la altura del pecho DAP, esta se mide en cm diametrales.
- b) Altura total H Tot, esta se mide en metros.
- c) Porcentaje de sobrevivencia S, que se mide en %.
- d) Forma: (Recto, Sinuoso, Bifurcado e Inclinado) como se observa en la Figura 7.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Códigos de forma de fustes.

6.5. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

El experimento consta de dos ensayos, cada ensayo de seis bloques cada uno con veinticuatro tratamientos, cada tratamiento con 6 plantas, de 1 surco por 6 plantas, con distanciamiento de 3m x 2m, dando un total de 288 unidades experimentales, el área total de cada ensayo es de 0.58 hectáreas.

6.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar, con cuarenta y ocho materiales con doce bloques, para dar un total de 288 unidades experimentales.

Se utilizó este diseño debido a la variabilidad de los materiales y la homogeneidad de las unidades experimentales que conformaron los bloques.

6.7. MODELO ESTADÍSTICO

El modelo asociado a este diseño experimental se muestra a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \begin{cases} i = 1, 2, 3, \dots, t \\ j = 1, 2, 3, \dots, r \end{cases}$$

Siendo:

Y_{ij} = variable de respuesta observada o medida en el i-esimo material y el j-esimo bloque.

μ = media general de la variable de respuesta.

τ_i = efecto del i-esimo material

β_j = efecto del j-esimo bloque

ε_{ij} = error asociado a la ij-esima unidad experimental.

6.8. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental es de 6 plantas (1 surcos de 6 plantas) con un distanciamiento de 2m x 3m, que es equivalente a un área de 36m² por unidad.

Tratamiento = 36 plantas.

Área total de ensayo = 0.58 hectáreas.

6.9. CROQUIS DE CAMPO

El arreglo del ensayo 1 y ensayo 2 en campo, se encuentran en el Anexo 3.

6.10. MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.10.1. Preparación del terreno

Para la limpia del terreno se realizó una quema, luego de esto se procedió a hacer el trazado, ahoyado y estaquillado del terreno.

La siembra se realizó durante el mes de septiembre del año 2015, para esto se utilizó plantas con una altura promedio de 30cm producidas en bandeja.

6.10.2. Control de maleza

Se realizaron 4 limpiezas manuales a todo el experimento, utilizando para esto 12 jornales.

Los objetivos del control de malezas fue favorecer la supervivencia de las plantas a través de la eliminación de la competencia y aumentar la productividad, disminuyendo la competencia por luz, agua y nutrientes.

6.10.3. Control de plagas

El control de plagas se realizó con la aplicación de insecticidas y monitoreando el área de los ensayos.

6.10.4. Identificación de los tratamientos

Para identificar las unidades experimentales en campo, se colocaron rótulos con la inscripción del material al que representaban.

6.10.5. Ronda corta fuego

Se realizó una ronda corta fuego para proteger los ensayos de incendios.

6.11. MATERIALES Y RECURSOS

En la implementación de los ensayos se utilizaron los materiales y recursos presentados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Materiales y recursos que se utilizaron durante el experimento.

Recurso	Materiales	Equipo
<ul style="list-style-type: none">• 12 jornales para el establecimiento de los ensayos.	<ul style="list-style-type: none">• 36 unidades de cada progenie de <i>E. urophylla</i>, para la implementación de los ensayos, la descripción de los materiales se encuentra en el Anexo 2.• Machetes.• Estacas• Azadones	<ul style="list-style-type: none">• Cinta métrica.• Libreta de campo.• Cámara fotográfica.• GPS.

Fuente: Elaboración propia

6.12. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de realizar las mediciones de seis y doce meses, se ingresaron todos los valores de las variables en el programa excel 2013 de Microsoft Office.

Se procedió a realizar el análisis de varianza de bloques completamente al azar con los datos de las variables diámetro altura pecho (DAP), altura total, volumen de cada tratamiento, luego se utilizó la prueba de Tuckey para confrontar las medidas e identificar los mejores materiales, el análisis de datos se llevó cabo con la ayuda del Software INFOSTAT/Estudiantil.

En el análisis de la sobrevivencia se hizo un conteo de todos los materiales vivos al final de los doce meses, con los datos se obtenidos se realizaron los porcentajes representativos de dicha variable, para la evaluación fenotípica se obtuvo el total de formas por tratamiento y luego se registró como porcentaje.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al finalizar el periodo de evaluación de los materiales, se pudo establecer a través del análisis de resultados obtenidos, que existe dificultad para determinar con exactitud los factores más influyentes en el desarrollo y crecimiento de las progenies, en virtud que el presente estudio es por un periodo de un año, situación que imposibilita su comparación con otros ensayos relacionados al tema, debido a que de acuerdo a la investigación documental realizada el que más se acercó en factor tiempo es de tres años y medio, situación que provoca definitivamente problemas para realizar la comparación deseada. Para realizar el análisis estadístico de las variables a evaluar, se utilizaron tres bloques de cada ensayo, se tomó esa decisión debido a que solamente esos estaban completos con los veinticuatro materiales evaluados por bloque, en virtud de que no se contó con la suficiente disponibilidad de plantas de cada progenie en el establecimiento. Es importante resaltar que, por lo anteriormente expuesto, en el ensayo 2 se excluyeron del análisis estadístico, las progenies 39, 44 y 47. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del crecimiento de cuarenta y ocho progenies, durante el periodo de un año.

7.1. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO

7.1.1. Análisis de las variables de crecimiento a los seis meses

7.1.1.1. Análisis de la altura total para el ensayo 1

Se realizó la prueba de ANDEVA (Análisis de Varianza), para determinar las diferencias significativas que existen entre los tratamientos para la variable altura total, los resultados se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable altura total a los seis meses.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamientos	23	0.44	0.02	2.44	0.0049
Bloques	2	0.01	0.0048	0.61	0.5461
Error	46	0.36	0.01		
Total	71	0.81			

Fuente: Elaboración propia

Después de aplicar el análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5% a los datos de la variable altura total a los seis meses del ensayo 1, se logró encontrar diferencias significativas entre los materiales, porque el valor de ($p = 0.0049$) fue menor a 0.05, con un coeficiente de variación del 12.82%, esto nos indica que al menos un material se comportó diferente con respecto a los demás. Utilizando la prueba de medias de Duncan se obtuvieron los resultados que se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Prueba de Duncan para la variable altura total a los seis meses.

Tratamientos	Medias	n					
6	0.80	3	A				
23	0.80	3	A				
2	0.80	3	A	B			
10	0.79	3	A	B			
13	0.78	3	A	B			
19	0.77	3	A	B	C		
1	0.75	3	A	B	C	D	
17	0.74	3	A	B	C	D	
14	0.73	3	A	B	C	D	
15	0.73	3	A	B	C	D	
3	0.69	3	A	B	C	D	E
12	0.69	3	A	B	C	D	E
16	0.68	3	A	B	C	D	E
4	0.68	3	A	B	C	D	E
8	0.66	3	A	B	C	D	E
9	0.65	3	A	B	C	D	E
21	0.64	3	A	B	C	D	E
7	0.62	3		B	C	D	E
18	0.60	3			C	D	E
5	0.60	3			C	D	E
11	0.59	3				D	E
22	0.59	3				D	E
24	0.58	3				D	E
20	0.55	3					E

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la prueba de tuckey se pudo observar que esta no logró conformar grupos entre las medias de los materiales evaluados, porque la diferencia entre las medias fue mínima, por lo consiguiente se tomó la

decisión de aplicar la prueba Duncan, utilizada por De la Vega (2016), en un estudio similar. Se determinó que las progenies 6 y 23 son las que conforma el grupo A poseen la mejor media en altura total con 0.80 metros, las progenies 2, 10 y 13 integran el grupo AB con unas medias que van desde 0.79 a 0.78 metros, el grupo ABC está conformado por la progenie 19, el grupo ABCD, lo integran las progenies 1, 17, 14 y 15, las progenies 3, 12, 16, 4, 8, 9 y 21 forman en grupo ABCDE, la progenie 7 integra en grupo BCDE, las progenies 18 y 5 conforman el grupo CDE, las progenies 11, 22, 24 forman el grupo DE y la progenie 20 es la que cuenta con la media más baja que esta sobre los 0.55 metros así completando el grupo E.

Según se puede visualizar en la Figura 8, solo dos materiales lograron alcanzar una media de 0.80 metros de altura total a los seis meses de edad y ningún material estuvo por debajo de los 0.50 metros.

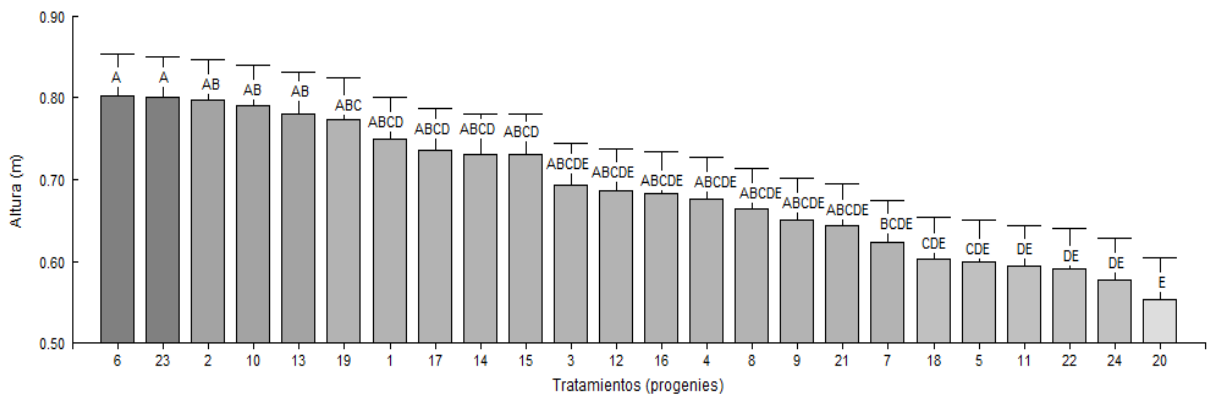


Figura 8. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los seis meses.

7.1.1.2. Análisis de la altura total para el ensayo 2

Se determinó la diferencia significativa que existe entre los tratamientos para la variable altura total, los resultados se describen en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Análisis de varianza para la variable altura total a los seis meses.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamientos	20	0.26	0.01	1.63	0.0921
Bloques	2	0.01	0.0034	0.43	0.6536
Error	40	0.32	0.01		
Total	62	0.59			

Fuente: Elaboración propia

Después de aplicar el análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5% a los datos de la variable altura total a los seis meses del ensayo 2, no se logró encontrar diferencias significativas entre los materiales, porque el valor de p (0.0921) fue mayor a 0.05, con un coeficiente de variación de 13.22%, esto nos indica que los materiales se comportaron igual.

Pese a que no se encontraron diferencias estadísticas en la variable altura total a los seis meses, las progenies que presentaron las mejores medias en dicha variable fueron: progenie 35 con una media de 0.80 metros, progenie 29 con una media de 0.76 metros y la progenie 38 con una media de 0.75 metros, como se visualiza en la Figura 9.

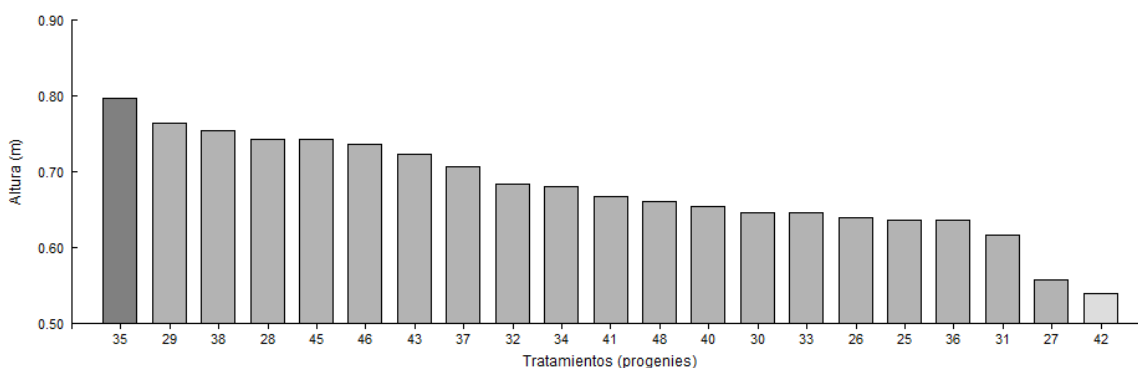


Figura 9. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los seis meses.

7.1.1.3. Análisis del diámetro a la altura del pecho (DAP)

Al finalizar los primeros seis meses de haber establecido los ensayos, no fue posible realizar este análisis por la falta de datos, ya que los materiales no contaban con una altura mayor a 1.30 metros.

7.1.2. Análisis de las variables de crecimiento a los doce meses

7.1.2.1. Análisis de la altura total para el ensayo 1

Se realizó la prueba de ANDEVA (Análisis de Varianza), para determinar las diferencias significativas que existen entre los tratamientos para la variable altura total, los resultados se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable altura total a los doce meses.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamientos	23	2.14	0.09	2.35	0.0069
Bloques	2	0.01	0.0046	0.12	0.8906
Error	46	1.82	0.04		
Total	71	3.97			

Fuente: Elaboración propia

Después de aplicar el ANDEVA, con un nivel de significancia del 5% a los datos de la variable altura total a los doce meses del ensayo 1, se logró encontrar diferencias significativas entre los materiales, ya que el valor de (p 0.0069) fue menor que 0.05, con un coeficiente de variación del 17.74%, esto muestra que al menos un material se comportó diferente con respecto a los demás.

Utilizando la prueba de medias de tuckey se comprobó que material es el mejor en el ensayo 1, respecto a la variable altura total, se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba de tuckey para la variable altura total a los doce meses.

Tratamientos	Medias	n		
2	1.41	3	A	
6	1.33	3	A	B
19	1.33	3	A	B
13	1.31	3	A	B
1	1.31	3	A	B
10	1.29	3	A	B
17	1.26	3	A	B
15	1.26	3	A	B
23	1.22	3	A	B
4	1.21	3	A	B
3	1.18	3	A	B
9	1.16	3	A	B
21	1.12	3	A	B
8	1.07	3	A	B
14	1.05	3	A	B
18	1.02	3	A	B
12	1.01	3	A	B
7	0.98	3	A	B
5	0.97	3	A	B
24	0.96	3	A	B
16	0.96	3	A	B
22	0.92	3	A	B
11	0.88	3	A	B
20	0.72	3		B

Fuente: Elaboración propia

Después de haber aplicado la prueba de tuckey, se determinó que la progenie 2 es la que conforma el grupo A esta posee la mejor media en altura total con 1.41 metros, las progenies 6, 19, 13, 1, 10, 17, 15, 23, 4, 3, 9, 21, 8, 14, 18, 12, 7, 5, 24, 16, 22 y 11, integran el grupo AB con unas medias que van desde 0.88 a 1.33 metros y la progenie 20 es la que cuenta con la media más baja, que esta sobre los 0.72 metros después de 12 meses de establecido el ensayo.

Cabe destacar que solo cinco materiales sobre pasaron los 1.30 metros de altura de los veinticuatro evaluados en este ensayo, como lo muestra la Figura 10.

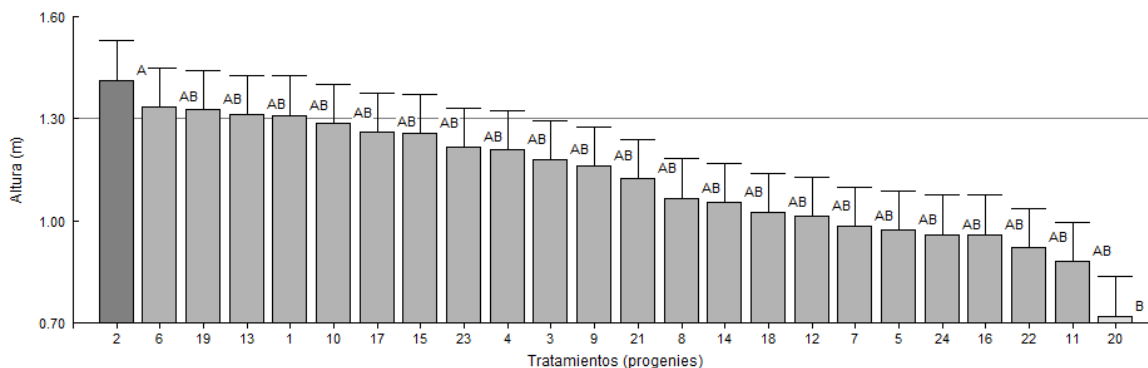


Figura 10. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los doce meses.

7.1.2.2. Análisis de la altura total para el ensayo 2

Se determinó la diferencia significativa que existe entre los tratamientos para la variable altura total, los resultados se describen en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable altura total a los doce meses.

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamientos	20	1.07	0.05	0.74	0.763
Bloques	2	0.21	0.11	1.48	0.2407
Error	40	2.9	0.07		
Total	62	4.18			

Fuente: Elaboración propia

Después de aplicar el análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5% a los datos de la variable altura total a los doce meses del ensayo 2, no se logró encontrar diferencias significativas entre los materiales, porque el valor de ($p = 0.763$), fue mayor que 0.05, con un coeficiente de variación de 21.53%, esto nos indica que los materiales se comportaron igual.

Aunque no se encontraron diferencias estadísticas en la variable altura total a los doce meses, las progenies que presentaron las mejores medias en dicha variable fueron: progenie 35 con una media de 1.49 metros, progenie 45 con una media de 1.46 metros y la progenie 46 con una media de 1.44 metros. En el ensayo 2, seis progenies se destacaron del resto por que fueron las únicas en sobre pasar los 1.30 metros de altura al año de establecidas en campo, se presenta en la Figura 11.

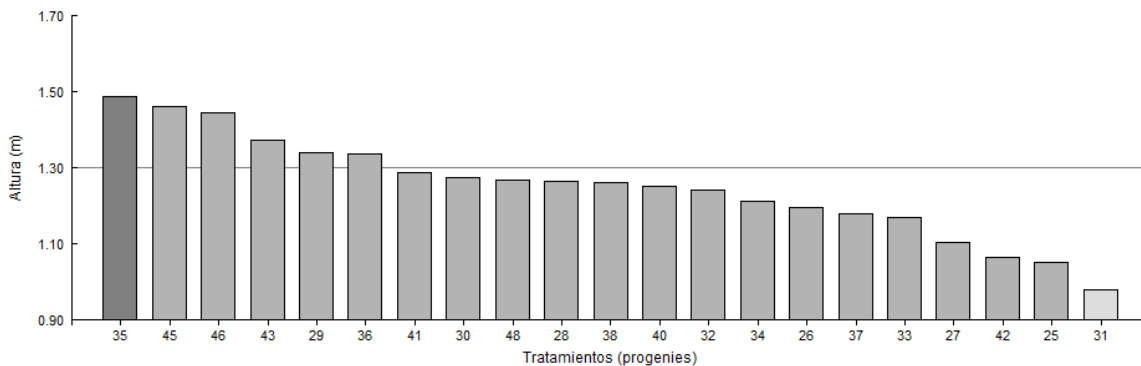


Figura 11. Gráfico de medias de la variable altura total en metros a los doce meses.

7.1.2.3. Análisis del diámetro a la altura del pecho (DAP) para el ensayo 1

Para la variable DAP no se logró realizar este análisis estadístico por la falta de datos de campo, ya que solamente 5 materiales alcanzaron más 1.30 metros de altura total, por lo consiguiente se realizó una media general para cada uno de estos materiales y se logró visualizar que el material 6 fue el que más destaco alcanzando una media de 0.82 centímetros de DAP al primer año de establecido, como lo muestra la Figura 12.

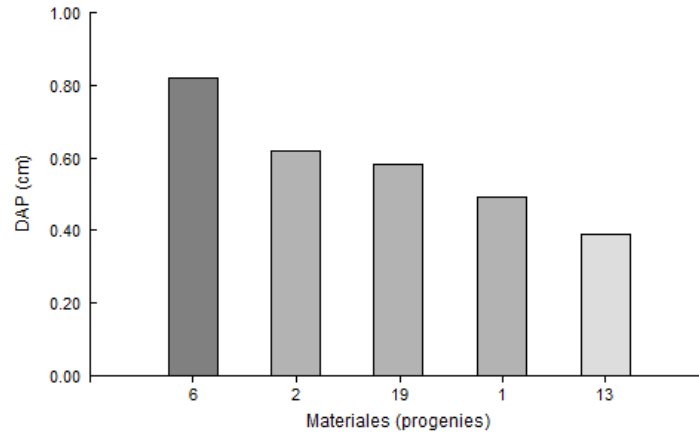


Figura 12. Gráfico de medias de la variable DAP en centímetros a los doce meses.

7.1.2.4. Análisis del diámetro a la altura del pecho (DAP) para el ensayo 2

Al cabo del primer año de edad de la plantación para la variable DAP no fue posible realizar el análisis estadístico, ya que solamente 6 materiales alcanzaron más 1.30 metros de altura total, entonces se realizó una media general para cada uno de estos materiales y se logró visualizar que el material 35 fue el que más destacó alcanzando una media de 0.83 centímetros de DAP, como se presenta en la Figura 13.

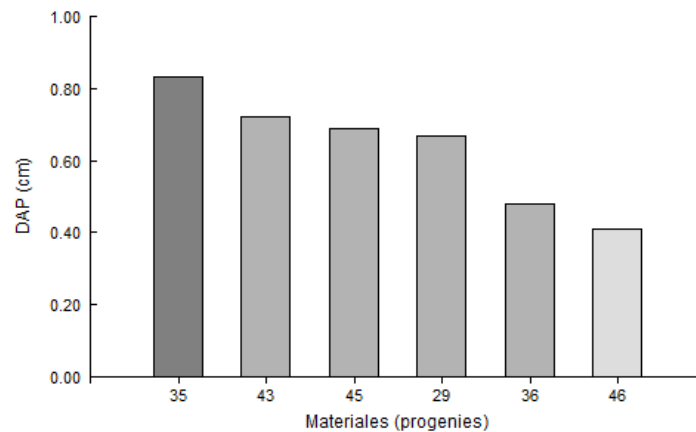


Figura 13. Gráfico de medias de la variable DAP en centímetros a los doce meses.

7.2. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD

En seguida, se presentan los resultados obtenidos de la productividad de los materiales evaluados, que se plantearon en el objetivo específico identificado con el numeral 2, durante el periodo de un año, como parte fundamental que sustenta el trabajo de campo realizado.

7.2.1. Análisis de volumen por hectárea para el ensayo 1

En la variable volumen no se logró realizar el análisis de varianza de los experimentos por la alta variabilidad de los datos, se logró realizar únicamente el cálculo de volumen por hectárea de 5 materiales, por lo consiguiente se realizó una media general para cada uno de estos materiales y se logró visualizar que el material 6 fue el que se destacó alcanzando una media de 0.43 metros cúbicos, como lo muestra la Figura 14.

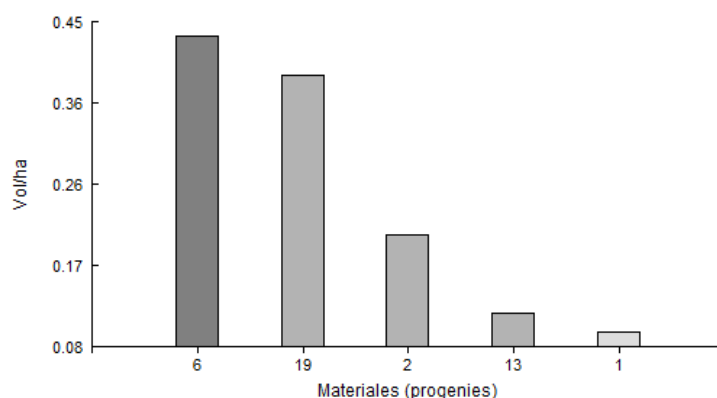


Figura 14. Gráfico de medias de la variable Vol./ha. en metros cúbicos a los doce meses.

7.2.2. Análisis de volumen por hectárea para el ensayo 2

Para el ensayo 2 en la variable volumen no se logró realizar el análisis ANDEVA a causa de la alta variabilidad de los datos, se logró realizar únicamente el cálculo de volumen por hectárea de 6 materiales, entonces se elaboró una media general para cada material y se logró observar que el material 35 fue el que mejor volumen mostró, alcanzando una media de 1.03 metros cúbicos, como lo muestra la Figura 15.

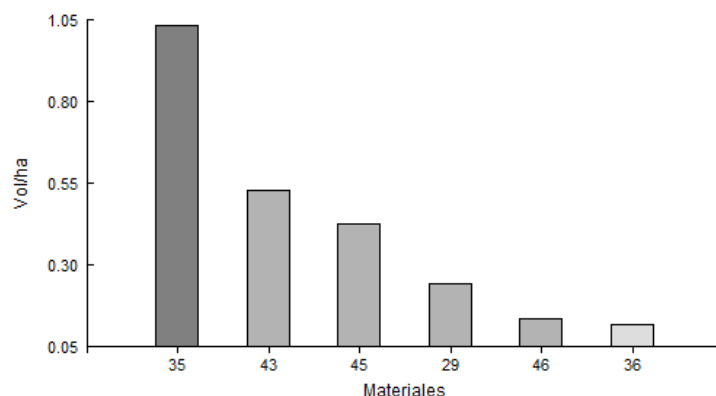


Figura 15. Gráfico de medias de la variable Vol./ha. en metros cúbicos a los doce meses.

7.2.3. Análisis de sobrevivencia a los doce meses

Los 24 materiales evaluados en el ensayo 1 se dividieron en tres grupos por el porcentaje de sobrevivencia que presentaron, ver en Anexo 5, los que tuvieron la mayor sobrevivencia a los doce meses fueron las progenies 3, 4, 6, 9, 14, 19, 22, 23 todas con un 100%, las progenies 2, 7, 8, 10, 13, 16, 17, 18, 20, 24 con un 94% y las progenies 1, 5, 15, 21, 11, 12 tuvieron el menor porcentaje de sobrevivencia con un 89%.

En el ensayo 2 se dividieron en cuatro grupos por el porcentaje de sobrevivencia que presentaron, ver en Anexo 6, las progenies 26, 30, 32, 33, 34, 35, 37, 43, 46, 48 conforman el primer grupo con el 100% de individuos vivos, en el segundo grupo están las progenies 25, 29, 41, 45 con un 94%, las progenies 36, 28, 40, 42 están en el tercer grupo con un 89% y las progenies 27, 31, 38 tuvieron el menor porcentaje de sobrevivencia con un 83%.

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos en la determinación del desarrollo fenotípico de cuarenta y ocho progenies, que se instituyeron en el objetivo específico identificado con el numeral 3, durante el periodo de un año, como parte medular para respaldar el trabajo de campo realizado.

7.3. ANÁLISIS FENOTÍPICO A LOS DOCE MESES

Como lo presenta la Figura 16 para el ensayo 1, en todos los materiales evaluados más del 75% de los individuos muestran una forma recta, el material con el mayor porcentaje de individuos rectos fue la progenie 3 con un 89%, lo prosigue la progenie 13 con el 85% y la progenie 6 con 84%, los materiales con mayor porcentaje de individuos con forma bifurcada son las progenies 24 con un 11% y la progenie 21 con el 8%, los materiales con la mayor cantidad de individuos con forma sinuosa la presentan la progenie 23 con 18%, la sigue la progenie 22 con un 17% y la progenie 17 con el 16%, los materiales con la mayor cantidad de individuos con forma inclinada fueron la progenie 14 con 10%, después las progenies 2, 10, 11, 16 y 19 con el 9%.

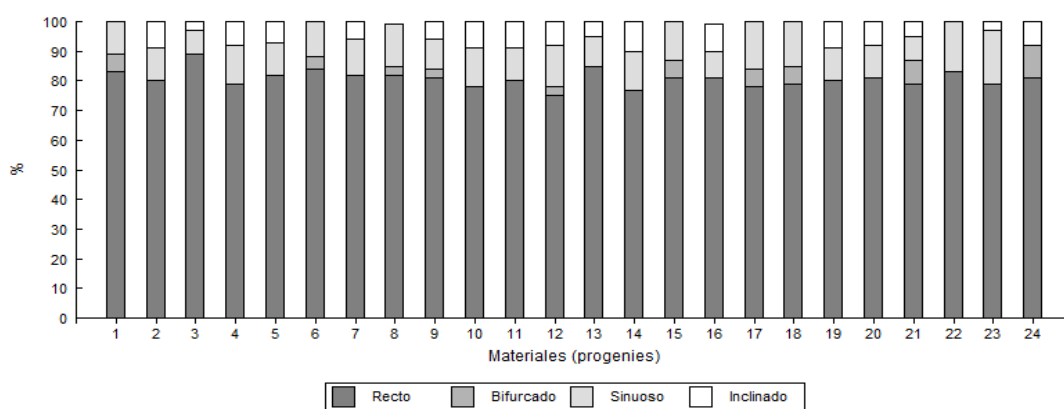


Figura 16. Gráfico de la distribución de los porcentajes de forma por material evaluado en el ensayo 1.

De acuerdo a lo que representa en la Figura 17 para ensayo 2, todos los materiales evaluados más del 75% de los individuos muestran una forma recta, el material con el mayor porcentaje de individuos rectos fue la progenie 44 con un 91%, la sigue la progenie 39 con un 89% y las progenies 25 y 35 ambas con el 86%, los materiales con la mayor cantidad de individuos con forma bifurcada son las progenies 29, 40 y 46 con 8%, las prosiguen las progenies 27, 34 y 41 con 6%, los materiales con mayor

porcentaje de individuos con forma sinuosa la presentan la progenie 32 con 24%, la sigue la progenie 43 con el 21% y la progenie 47 con 19%, los materiales con la mayor cantidad de individuos con forma inclinada fueron la progenie 38 con 8%, después la progenie 31 con el 6%. Ver Anexo 8 para visualizar los resultados del análisis fenotípico de todos los materiales evaluados en el ensayo 2.

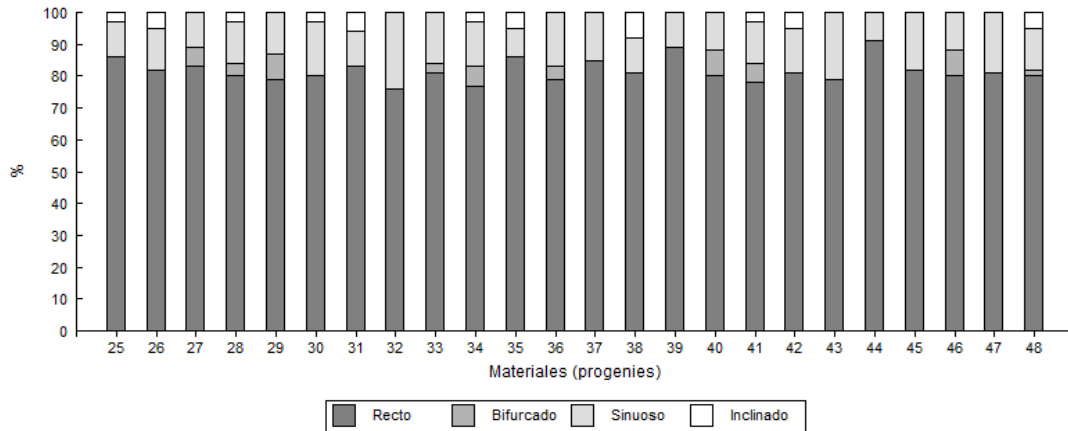


Figura 17. Gráfico de la distribución de los porcentajes de forma por material evaluado en el ensayo 2.

7.4. DISCUSIÓN

Como parte de la investigación realizada a continuación se presentan datos obtenidos directamente del estudio realizado y de la revisión bibliográfica relacionada al tema, ordenada de acuerdo al factor tiempo, de forma ascendente esto con la finalidad de establecer un panorama general de los resultados como se ha indicado anteriormente, tomando como factor principal el tiempo evaluación de los estudios.

Los resultados obtenidos de los ensayos de la finca Chilax, a los doce meses de establecidos, en relación al primer objetivo planteado, referente a la evaluación del crecimiento son, para ensayo 1, la progenie 2 presentó las mejores medias con 1.41 metros en la variable altura total, el mejor resultado de DAP durante el primer año de evaluación en el ensayo 1, lo mostró la progenie 6 alcanzando una media de 0.82 centímetros.

Para el ensayo 2, la progenie 35 con 1.49 metros fue la que obtuvo los mejores datos en la variable Altura total, este dato resulto mayor en comparación al obtenido en el ensayo 1, la progenie 35 fue la que obtuvo en mejor resultado con una media de 0.83 centímetros, esta última progenie mencionada fue la que mejores valores registró en esta variable de todos los materiales evaluados en ambos ensayos.

En la estimación de productividad variable establecida en el segundo objetivo específico del estudio, los resultados presentados en este sitio, muestran que no todos los árboles alcanzaron 1.30 metros de altura en los ensayos, por lo que no existe una de las variables para la estimación de volumen, por esa razón solo se estimaron medias de los materiales que, si fueron sometidos a la fórmula de estimación de volumen, al año de establecidos los mejores datos obtenidos fueron en el ensayo 1, la progenie 6, mostro la mejor media con 0.43 metros cúbicos por hectárea. En el ensayo 2, en la variable volumen la mejor progenie fue la 35 con mostrando 1.03 metros cúbicos por hectárea.

De acuerdo a los resultados obtenidos y presentados anteriormente se puede determinar que este tipo de experimento en un periodo de doce meses presenta dificultad para establecer la productividad en progenies, debido a que los materiales no alcanzaron en su totalidad 1.30 metros de altura, variable indispensable para la determinación del volumen. Por lo que en base a lo indicado anteriormente se aconseja que para establecer la productividad el tiempo optimo es de tres años, lo que permitirá contar con mayor cantidad de datos que generen una certeza en relación al objetivo del presente estudio.

Los porcentajes de sobrevivencia de algunos materiales evaluados se vieron afectados por ataques esporádicos de algunas plagas como *Rattus spp*, a los doce meses en el Ensayo 1, las progenies 3, 4, 6, 9, 14, 19, 22, 23 obtuvieron el mayor porcentaje de sobrevivencia todas con un 100%. En el ensayo 2, las progenies 26, 30, 32, 33, 34, 35, 37, 43, 46, 48 también

lograron el 100% de individuos vivos, cabe mencionar que el porcentaje más bajo que presentaron algunos materiales en los ensayos fue de 83% de sobrevivencia.

En la determinación del desarrollo fenotípico, relacionado al tercer objetivo de la investigación, se caracterizaron los materiales evaluados realizando un análisis fenotípico para cada ensayo, de las 48 progenies que integran los dos ensayos, la progenie 44 obtuvo el 82% de fustes rectos siendo el porcentaje más alto, seguida por la progenie 3 con un 81% de fustes rectos y con el tercer mejor porcentaje de fustes rectos con un 80% la progenie 13, la progenie 11 es el material con el porcentaje más bajo de fustes rectos con el 65%.

En base a todas las variables evaluadas, altura total, DAP, volumen por hectárea y sobrevivencia, los materiales que destacaron fueron la progenie en el ensayo 1 y la progenie 35 en el ensayo 2, al tener los mejores resultados bajo las condiciones de la finca Chilax, San Juan Chamelco.

Ensayos de progenies de eucalipto y de otras especies han sido establecidos en muchos países del mundo y los tiempos de evaluación de esos son diversos, a los 3.5 años de edad en localidad de Ipatinga Brasil, Schenone (2002), obtuvo en un ensayo de progenies de *E. dunii* el valor de 14.33 metros de altura total como el más destacado, en la variable DAP el dato más alto fue de 11.64 centímetros y el valor de 0.198 metros cúbicos como el mejor resultado por material en la variable volumen.

Resultados interesantes presenta Mesen (2007), en un ensayo de progenies de *E. deglupta* establecidos en Turrialba Costa Rica, a los 3.5 años de edad el mejor material presento 16.5 metros de altura total y el mejor resultado en la variable DAP fue de 16.2 centímetros.

Otro ensayo instalado en Turrialba Costa Rica, se evaluaron progenies de *E. grandis*, Mesen (2007), a los 4.4 años de edad reporta que la mejor

altura encontrada en los materiales evaluados fue de 23.5 metros y para la variable DAP el resultado más alto fue de 27 centímetros.

Morales (2012), reporta a 5 años de establecido un ensayo de progenies de *P. patula* en Puebla México, como parte de un programa de mejoramiento genético, el mejor resultado encontrado para la variable altura total fue de 3.85 metros, la media más alta encontrada para la variable DAP fue de 4.53 centímetros, en la variable volumen el mejor dato fue de 0.443 metros cúbicos por material y a los 5 años la mayor sobrevivencia fue del 83% y la más baja del 66%.

Corea, Cornelius y Mesen (1992), presentan resultados de un ensayo instalado en Costa Rica, de 23 progenies de 8 especies de *Eucalyptus spp* a los 5 años de edad en la variable volumen el mejor dato encontrado fue de 155 metros cúbicos por hectárea mostrado por una progenie de *E. grandis*.

A los 6.5 años de establecido un ensayo de 10 progenies de *E. urophylla* en Santa Clara Costa Rica, Mesen (1990), reporta que, el mejor resultado de Altura total fue de 23.7 metros, también presenta que las medias llegaron a los 20.5 centímetros en la variable DAP y los mejores porcentajes de sobrevivencia alcanzaron un 96% y los más bajos fueron del 73%.

Corea, Cornelius y Mesen (1992), en otro ensayo de 10 progenies de *E. urophylla* a los 6.5 años en San Carlos, el mejor volumen identificado fue de 397 metros cúbicos por hectárea.

En Antioquia, Colombia Guzmán (2014), presenta que, se instalaron ensayos de *P. patula*, a los 8 años de establecidos los experimentos, encontró que el mejor resultado encontrado en altura total fue de 16.2 metros, en la variable DAP fue de 16.7 centímetros y el mejor material refleja en volumen un valor de 0.18 metros cúbico, también a los 8 años se identificó que el mejor porcentaje de sobrevivencia estuvo sobre el 95%.

A los 11 años en Chile, INFOR (2011), registró valores de un ensayo de procedencias de *E. cladocalyx*, en altura total la mejor media fue de 14 metros, para la variable DAP, se alcanzaron medias de 22.10 centímetros y se contabilizó datos de sobrevivencia del 100% en algunos materiales evaluados.

Se realizó un análisis sobre fenómenos externos que acontecieron en el año del establecimiento de los ensayos, tomando en cuenta que estos no tuvieron una incidencia directa en el desarrollo y crecimiento de los materiales.

VIII. CONCLUSIONES

Al finalizar el primer año de estudio, los materiales evaluados presentan cierto nivel de crecimiento, lo cual provee una idea del potencial de estas fuentes para plantaciones en zonas húmedas del país y con condiciones edáficas similares a las de la región, en la variable Altura Total el mejor dato en ambos ensayos fue el de la progenie 35 con 1.49 metros. Se establece que la progenie 35 fue la de mejor rendimiento en esta variable entre los materiales evaluados en los ensayos.

En la evaluación del crecimiento, en DAP a los doce meses la progenie 35 destacó con 0.83 centímetros. Se concluye que la progenie 35 fue la que sobresalió en esta variable, entre todos los materiales evaluados.

Al concluir el tiempo de evaluación, durante la etapa inicial de la plantación, se estableció que el crecimiento de las progenies no permite tener datos representativos en relación a la variable volumen, factor indispensable para la obtención de la productividad.

Se establece que en la variable sobrevivencia las progenies mostraron resistencia a las condiciones a las que fueron sometidas en la presente investigación, debido a que no hubo materiales que presentaran un porcentaje menor al 80% de sobrevivencia, a pesar que esta es la etapa de crecimiento y desarrollo más crítica, por su exposición a las condiciones ambientales de cada sitio en particular, los materiales mostraron resistencia a las condiciones climáticas de la región.

Se estableció a través de la evaluación fenotípica en los materiales observados, que más del 75% de los individuos muestran una forma recta, la progenie 44, obtuvo el valor más alto en cuanto a fustes rectos con un 82%; y la progenie 11 presentó el valor más bajo con un 65%.

Se concluye que la progenie 35 es el material más destacado, debido a que durante los primeros doce meses de edad mostró los mejores resultados en las variables evaluadas, con medias de 1.49 metros en Altura Total, 0.83 centímetros en DAP, 1.03 metros cúbicos de volumen por hectárea y el 100% de sobrevivencia; bajo las condiciones de la Finca Chilax, San Juan Chamelco.

IX. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el estudio realizado:

Se recomienda que para establecer la productividad de los materiales evaluados (progenies), el tiempo óptimo para su evaluación es de tres años, lo que permitirá contar con mayor cantidad de datos que determinen con certeza dicha variable.

Seguir con la evaluación de los materiales, para confrontar los resultados que se obtuvieron en el presente estudio, y así establecer si se dan cambios en las variables de los materiales evaluados.

Implementar planes de fertilización para el ensayo ubicado en la Finca Chilax y para próximas investigaciones de esta índole, usando como referencia un análisis de suelo y los requerimientos nutricionales de la especie a evaluar con la finalidad de mejorar las condiciones edafológicas que garantizaran una mayor productividad de los materiales.

Continuar con el control de plagas y enfermedades, durante el tiempo de evaluación de los ensayos para que los materiales no sufran de variaciones en su desarrollo y sobrevivencia.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Alba, J. (2005). Establecimiento de un ensayo de progenie de *Pinus oaxacana* Mirov en los Molinos, Veracruz, Mexico. Consultado 11 de septiembre 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49770205>
- Barner, H. (1992). Introducción al Mejoramiento Genético Forestal (en línea). Dinamarca. Consultado 27 de septiembre 2015. Disponible en <http://www.sidalc.net/REPDOC/A0023S/A0023s04.pdf>
- Barner, H. y Keiding, H. (1990). Identification establishment and management of seed sources. Danida Forest Seed Centre. Denmark.
- Badilla, Y. y Murillo, O. (2005). Soluciones Tecnológicas: Establecimiento de Jardines clonales. Kurú Revista Forestal 6:14.
- Bin, E. (2017). Evaluación de densidades de plantación de *Eucalyptus*, San Juan Chamelco, Alta Verapaz. [Tesis en proceso de aprobación]. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 75p.
- Boland, D. (1992). Forest Trees of Australian. CSIRO. 687p.
- Borralho, N. y Nieto, V. (2012). Eucalyptus para la Orinoquia: Retos y Oportunidades. M&M. 75: 26-33.
- CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (1994). Curso Nacional sobre seleccion, clasificacion y manejo de Fuentes Semilleras. Panama. Recuperado el día 11 de septiembre del año 2015 <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0022S/A0022S06.pdf>
- Corea, E. Cornelius, J. Mesen, F. (1992). Resultados del Proyecto Mejoramiento Genetico Forestal del CATIE, sus aplicaciones y efectos esperados. Turrialba, Costa Rica. 390p.
- Cornelius, J. (1998). Selección y manejo de fuentes semilleras de América Central y República Dominicana. Turrialba, Costa Rica. 98p.

- Daetz, C. (2015). Evaluación del crecimiento de plantaciones de Eucalipto en Lanquin, Alta Verapaz. Tesis Ing. Fort. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 49p.
- De la Vega, S. (2016). Evaluación de crecimiento y calidad de materiales genéticos de clones de *Eucalyptus*; La Tinta, Alta Verapaz. Tesis Ing. Fort. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 46p.
- ENCE, Grupo empresarial. (2006). La gestion forestal sostenible y el Eucalipto. Madrid, España. Recuperado el día 10 de septiembre del año 2015 es.slideshare.net/.../la-gestin-forestal-sostenible-y-el-eucalipto-web
- ENCE, Grupo empresarial. (2009). El valor de la biomasa forestal. Madrid, España. Recuperado el día 10 de septiembre del año 2015 http://www.ence.es/pdf/Biomasa_forestal.pdf
- Espina, A. (2006). Densidad basica de la madera de *Eucalyptus globulus* en dos sitios en Chile. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile.
- FAO. (1981). El Eucalipto en la repoblación forestal. Roma, Italia. 723p.
- FAO. (1987). Efectos Ecológicos de los eucaliptos. Roma, Italia. 106p.
- FAO. (2000). Plant Production and Protection Division. Recuperado el día 28 de noviembre del año 2016 <http://ecocrop.fao.org>.
- FAO. (2007). Glosario de Biotecnología para la Agricultura y alimentación. Recuperado el día 20 de septiembre del 2015 <ftp.fao.org/docrep/fao/004/y2775s/y2775s01.pdf>
- FAO. (2008). Bosques y energía. Roma, Italia. 69p.
- FAO. (2014). Estado de los bosques del mundo. Roma, Italia. 132p.
- Fernandez, J. y Díaz, R. (1999). Evaluación de un ensayo de progenie de *Juglans regia* en Galicia. Galicia, España. 114p.
- Flynn, R. y Neilson, D. (2006). The International Pulpwood Resource and Trade Review. DANA. 70p.

- García, M. (2016). Desarrollo de clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake durante el primer año de establecimiento, en el Campus San Pedro Claver S.J. Tesis Ing. Fort. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 73p.
- Guzman, D. (2014). Evaluación de ensayo de progenies de polinización abierta de *Pinus patula* Schl. Et Cham en tres sitios en el departamento de Antioquia. Tesis Ing. Agroforestal. Medellin, Colombia, UNAD. 51p.
- Haston, E.; Richardson, J.; Stevens, P.; Chase M. & Harris, D. (2009). The Linear Angiosperm Phylogeny Group (LAPG) III: a linear sequence of the familias in APG (III). Bot. Journ. Linn. Soc. Lond. 161. pp.128-131.
- Hun, V. (2017). Evaluación de materiales genéticos de *Eucalyptus urophylla* en el tercer año de desarrollo; San Juan Chamelco, Alta Verapaz. [Tesis en proceso de aprobación]. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 64p.
- INAB. (2011). Dinámica de Cobertura Forestal 2001-2006. Guatemala. Consultado el día 22 de octubre del año 2015.
- INAB. (2017). PINFOR. Distribucion de áreas por especie. Guatemala. Consultado el día 26 de septiembre del año 2015.
- INFOR. (2011). Analisis de ensayos de progenie de *Eucalyptus cladocalyx* y clones de *Eucalyptus camaldulensis* en línea. Chile. Consultado el día 16 de septiembre del año 2015. Disponible en <http://biblioteca1.infor.cl/DATAFILES/26786.pdf>
- INFOR. (2015). Conservación de Recursos Genéticos Forestales. Chile. Consultado el día 13 de febrero del año 2017. Disponible en <http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/31363.pdf>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología (2016). Atlas climatológico. Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos. Guatemala. Consultado 14 enero. 2017. Disponible en

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/t-med.jpg

Keiding, H. (1992). Field testing practices of a tree improvement program (en línea). Denmark. Consultado el día 17 de septiembre del año 2015. Disponible en http://curis.ku.dk/ws/files/20684610/d1_001.pdf

Larrañaga, M. y Flores, N. (2012). Oferta y demanda de leña en la Republica de Guatemala, INAB-URL/IARNA-FAO. Informe Final. Guatemala.

MAGA (2005). Mapa de zonas de vida Holdridge. Consultado el día 14 de febrero del año 2017.

MAGA (2009). Descripción Taxonómica de los suelos de la República de Guatemala. Consultado el día 24 de febrero del año 2017.

Mesen, F. (1990). Resultados de ensayos de procedencias en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 42p.

Mesen, F. (2007). Ensayos de familias de *Eucalyptus deglupta* Y *E. grandis* con fines de conversion en huertos semilleros. Turrialba, Costa Rica. 20p.

Montepeque, M. (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y actividades de conservación de los recursos naturales, en la empresa Pantaleón S.A. Siquinalá, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Guatemala, USAC. 173p.

Morales, E. (2012). Parámetros genéticos e interacción genotipo x ambiente en características de crecimiento en un ensayo de progenies de *Pinus patula Schltdl. et Cham*. Tesis Postgrado Forestal. Montecillo, México, COLPOS. 60p.

Pedersen, A. (1992). Tree improvement species and provenance level. Danida Forest Seed Centre. Denmark.

- Ramos, Y. (2004). Variación de semillas y plántulas de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa del estado de Jalisco México. Tesis Postgrado en Ecología Forestal. Xalapa, Veracruz, Instituto de Genética Forestal UV. 72p.
- Restrepo, N. (2010). El Eucalipto: Una opción de alta Rentabilidad. Revista MM. Colombia. p. 1-7.
- Roulund, H. (1992). Mass production of improved material. Danida Forest Seed Centre. Denmark.
- Roulund, H. y Olesen, K. (1992). Tree improvement at family and individual level. Humlebaek. Danida Forest Seed Centre. Denmark.
- Schenone, R. (2002). Variación genética en procedencias/progenies de polinización abierta de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Brasil. 89p.
- Sotolongo, R. (2010). Mejoramiento Genetico Forestal.
- URL y IARNA. (2006). Estado del uso de la Tierra y ordenamiento territorial en Guatemala. Guatemala. 39p.
- Wellendorf, H. (1991). Tree improvement strategies. Danida Forest Seed Centre. Denmark.
- Wellendorf, H. (1992). Introduction to forest genetics. Danida Forest Seed Centre. Denmark.
- Wellman, D. (2017). Evaluación de la adaptabilidad de materiales de *Eucalyptus* con fines energéticos; Alta Verapaz. [Tesis en proceso de aprobación]. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 71p.
- Wesley, L., & Irfan, T. (1997). Classification of residual soils in mechanics of residual soils. The Netherlands.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Códigos de forma y defectos del fuste.

Códigos de forma		Defectos de fuste	
Código	Significado	Código	Significado
1	Cola de zorro	A	Tallo quebrado con recuperación
2	Poco sinuoso	B	Tallo quebrado sin recuperación
3	Muy sinuoso	C	Sin copa
4	Torcedura basal	D	Replantación
5	Bifurcado	E	Spp extraña
6	Inclinado	F	Rebrote
7	Enfermo	G	Raleado
8	Con plagas	H	Regeneración natural
9	Copa asimétrica	I	Dominante
		J	Codominante
		K	Suprimido
		L	Ejes rectos y sin defectos de forma

Fuente: (MIRA-SILV®, 2003).

Anexo 2. Descripción de los materiales a evaluar procedentes de semilla.

Código Familia	Localidad	Sector	No. Árbol	Especie
1	Monterrey I	La Cancha	1	E. urophyllia AR9
2			2	
3			3	
4			5	
5			6	
6			7	
7			13	
8			14	
9			17	
10			18	
11			22	
12			24	
13			26	
14			29	
15		La Casona	33	E. urophyllia AR9
16			36	
17			37	
18			38	
19		El Encino	43	E. urophyllia AR9
20			44	
21			45	
22			46	
23		La Ceiba	7	E. urophyllia VRD
24			12	
25	Monterrey I	Progenies	5760 A	E. Urophyllia
26			5760 B	
27			5686	
28			5682	
29			5847	
30			AR9	
31		Flores	2	E. urophyllia Pantaleon
32			3	
33			4	
34			5	
35			6	
36			7	
37			9	
38			10	
39			17	
40			23	
41			25	
42			29	
43			30	
44			31	
45			34	
46			35	
47			36	
48		La Joya	Mix	E. urophyllia AR9

Anexo 3. Croquis de campo del ensayo 1 y ensayo 2 de la finca Chilax.

CROQUIS DE CAMPO																														
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
B	18	10	3	15	13	19	4	12	22	14	7	1	9	16	2	23	17	24	6	11	8	20	5	21	B	B	B	B	B	B
B	18	10	3	15	13	19	4	12	22	14	7	1	9	16	2	23	17	24	6	11	8	20	5	21	B	B	B	B	B	B
B	18	10	3	15	13	19	4	12	22	14	7	1	9	16	2	23	17	24	6	11	8	20	5	21	B	B	B	B	B	B
B	18	10	3	15	13	19	4	12	22	14	7	1	9	16	2	23	17	24	6	11	8	20	5	21	B	B	B	B	B	B
B	18	10	3	15	13	19	4	12	22	14	7	1	9	16	2	23	17	24	6	11	8	20	5	21	B	B	B	B	B	B
B	18	10	3	15	13	19	4	12	22	14	7	1	9	16	2	23	17	24	6	11	8	20	5	21	B	B	B	B	B	B
B	10	13	9	1	14	20	2	15	24	12	3	19	17	6	5	18	16	21	7	23	11	4	22	8	B	B	B	B	B	B
B	10	13	9	1	14	20	2	15	24	12	3	19	17	6	5	18	16	21	7	23	11	4	22	8	B	B	B	B	B	B
B	10	13	9	1	14	20	2	15	24	12	3	19	17	6	5	18	16	21	7	23	11	4	22	8	B	B	B	B	B	B
B	10	13	9	1	14	20	2	15	24	12	3	19	17	6	5	18	16	21	7	23	11	4	22	8	B	B	B	B	B	B
B	10	13	9	1	14	20	2	15	24	12	3	19	17	6	5	18	16	21	7	23	11	4	22	8	B	B	B	B	B	B
B	21	1	12	23	8	3	17	9	16	11	22	14	20	24	7	13	2	18	5	4	10	19	15	6	B	B	B	B	B	B
B	21	1	12	23	8	3	17	9	16	11	22	14	20	24	7	13	2	18	5	4	10	19	15	6	B	B	B	B	B	B
B	21	1	12	23	8	3	17	9	16	11	22	14	20	24	7	13	2	18	5	4	10	19	15	6	B	B	B	B	B	B
B	21	1	12	23	8	3	17	9	16	11	22	14	20	24	7	13	2	18	5	4	10	19	15	6	B	B	B	B	B	B
B	19	11	2	17	21	15	22	5	12	14	9	16	18	13	8	10	1	20	4	23	7	24	6	3	B	B	B	B	B	B
B	19	11	2	17	21	15	22	5	12	14	9	16	18	13	8	10	1	20	4	23	7	24	6	3	B	B	B	B	B	B
B	19	11	2	17	21	15	22	5	12	14	9	16	18	13	8	10	1	20	4	23	7	24	6	3	B	B	B	B	B	B
B	19	11	2	17	21	15	22	5	12	14	9	16	18	13	8	10	1	20	4	23	7	24	6	3	B	B	B	B	B	B
B	19	11	2	17	21	15	22	5	12	14	9	16	18	13	8	10	1	20	4	23	7	24	6	3	B	B	B	B	B	B
B	21	9	18	11	6	3	14	23	19	5	22	1	10	16	20	8	4	2	13	7	12	17	15	24	B	B	B	B	B	B
B	21	9	18	11	6	3	14	23	19	5	22	1	10	16	20	8	4	2	13	7	12	17	15	24	B	B	B	B	B	B
B	21	9	18	11	6	3	14	23	19	5	22	1	10	16	20	8	4	2	13	7	12	17	15	24	B	B	B	B	B	B
B	21	9	18	11	6	3	14	23	19	5	22	1	10	16	20	8	4	2	13	7	12	17	15	24	B	B	B	B	B	B
B	7	20	5	24	16	23	1	18	10	2	21	11	14	19	15	22	8	4	6	9	3	13	17	12	B	B	B	B	B	B
B	7	20	5	24	16	23	1	18	10	2	21	11	14	19	15	22	8	4	6	9	3	13	17	12	B	B	B	B	B	B
B	7	20	5	24	16	23	1	18	10	2	21	11	14	19	15	22	8	4	6	9	3	13	17	12	B	B	B	B	B	B
B	7	20	5	24	16	23	1	18	10	2	21	11	14	19	15	22	8	4	6	9	3	13	17	12	B	B	B	B	B	B
B	7	20	5	24	16	23	1	18	10	2	21	11	14	19	15	22	8	4	6	9	3	13	17	12	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

B-1

B-2

B-3

B-4

B-5

B-6

CROQUIS DE CAMPO																														
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38</																			

CROQUIS DE CAMPO																														
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	39	32	31	43	26	45	48	41	28	37	42	47	46	30	38	40	34	25	29	33	35	27	44	36	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	25	42	35	47	29	40	34	26	36	46	39	41	27	48	30	28	32	31	43	44	33	45	37	38	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	42	33	30	35	46	43	41	34	40	25	31	27	45	38	37	39	44	36	28	29	26	48	32	47	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	40	30	25	31	35	37	29	39	34	45	47	38	32	28	41	44	42	27	33	46	36	43	48	26	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	29	34	31	42	45	26	33	30	48	39	36	27	25	44	28	32	38	35	41	37	47	40	46	43	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	31	37	44	46	28	48	41	29	35	40	38	34	27	43	30	47	26	39	36	42	33	25	45	32	B	B	B	B	B	B
B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	B	B	B	B	B	B

B-1

B-2

B-3

B-4

B-5

B-6

Anexo 4. Boleta de campo.

Boleta de campo, Finca Chilax, San Juan Chamelco

Fecha de plantacion					
No. De ensayo:				Fecha de medicion	
No. De Bloque:				No. De medicion	
No.	Familia	DAP	Altura (m)	Forma	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
No.	Familia	DAP	Altura (m)	Forma	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
No.	Familia	DAP	Altura (m)	Forma	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Codigo Forma: B= Bifurcado, I= Inclinado, R= Recto, S= Sinuoso

Anexo 5. Supervivencia a los doce meses, ensayo 1.

Materiales	% Supervivencia
3	100%
4	
6	
9	
14	
19	
22	
23	
2	94%
7	
8	
10	
13	
16	
17	
18	
20	
24	
1	89%
5	
15	
21	
11	
12	

Anexo 6. Supervivencia a los doce meses, ensayo 2.

Material	% Supervivencia
26	100%
30	
32	
33	
34	
35	
37	
43	
46	
48	
25	94%
29	
41	
45	
36	89%
28	
40	
42	
27	83%
31	
38	

Anexo 7. Análisis fenotípico a los doce meses, ensayo 1.

Material	Porcentaje de individuos			
	Recto	Bifurcado	Sinuoso	Inclinado
1	83	6	11	0
2	80	0	11	9
3	89	0	8	3
4	79	0	13	8
5	82	0	11	7
6	84	4	12	0
7	82	0	12	6
8	82	3	14	2
9	81	3	10	6
10	78	0	13	9
11	80	0	11	9
12	75	3	14	8
13	85	0	10	5
14	77	0	13	10
15	81	6	13	0
16	81	0	9	9
17	78	6	16	0
18	79	6	15	0
19	80	0	11	9
20	81	0	11	8
21	79	8	8	5
22	83	0	17	0
23	79	0	18	3
24	81	11	0	8

Anexo 8. Análisis fenotípico a los doce meses, ensayo 2.

Material	Porcentaje de individuos			
	Recto	Bifurcado	Sinuoso	Inclinado
25	86	0	11	4
26	82	0	13	5
27	83	6	11	0
28	80	3	13	3
29	79	8	13	0
30	81	0	17	3
31	83	0	11	6
32	76	0	24	0
33	81	3	16	0
34	77	6	14	3
35	86	0	10	5
36	78	4	17	0
37	85	0	15	0
38	81	0	12	8
39	89	0	11	0
40	80	8	12	0
41	77	6	13	3
42	81	0	14	5
43	79	0	21	0
44	91	0	9	0
45	82	0	18	0
46	80	8	12	0
47	81	0	19	0
48	80	2	13	5