

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

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

EVALUACIÓN DE MATERIALES GENÉTICOS DE *Eucalyptus urophylla* EN EL TERCER AÑO DE
DESARROLLO; SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ

TESIS DE GRADO

VICTOR ALFONSO HÚN CAAL

CARNET 23945-11

SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, MAYO 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

EVALUACIÓN DE MATERIALES GENÉTICOS DE *Eucalyptus urophylla* EN EL TERCER AÑO DE
DESARROLLO; SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ

TESIS DE GRADO

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

POR

VICTOR ALFONSO HÚN CAAL

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, MAYO 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

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
MGTR. MANUEL SABINO MOLLINEDO GARCÍA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. JERSON ELIZARDO QUEVEDO CORADO
MGTR. MARÍA MERCEDES LÓPEZ-SELVA QUINTANA DE GÁLVEZ
MGTR. PEDRO ARNULFO PINEDA COTZOJAY

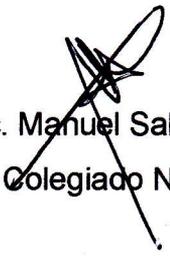
Cobán, Alta Verapaz, abril 01 de 2017

Honorable Consejo de
La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he procedido a revisar el Informe Final de Tesis del estudiante Victor Alfonso Hún Caal, que se identifica con carné 2394511 titulado: **“Evaluación de Materiales Genéticos de *Eucalyptus urophylla* en el Tercer Año de Desarrollo; San Juan Chamelco, Alta Verapaz”**, el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado, por lo que solicito sea revisado por la tema que designe el Honorable Consejo de la Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,


Ing. Agr. MSc. 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 VICTOR ALFONSO HÚN CAAL, Carnet 23945-11 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. 0656-2017 de fecha 5 de mayo de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DE MATERIALES GENÉTICOS DE *Eucalyptus urophylla* EN EL TERCER AÑO DE DESARROLLO; 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 19 días del mes de mayo del año 2017.



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



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su apoyo incondicional y demostrar la fe que tienen en mí.

A mi hermano, por apoyarme y ser parte integral de este logro.

A mi asesor Ing. Agr. MSc. Manuel Sabino Mollinedo García por su valiosa asesoría, revisión y corrección del presente proyecto de tesis.

A la Universidad Rafael Landívar, Campus “San Pedro Claver, S.J.” de la Verapaz, por permitirme realizar dentro de sus instalaciones mis evaluaciones dasométricas.

A mis amigos, por el apoyo y guía en la realización de mi informe final de graduación.

Al tribunal de terna que me orientó y brindó la confianza para poder presentar mi informe final de tesis.

DEDICATORIA

A

Dios, Abba: Por haberme permitido culminar una etapa de vida, brindándome salud, paciencia y protegerme durante este camino, además de su bondad y misericordia (Filipenses 4:20).

Mi madre: Por haberme corregido y apoyado en todo momento y ser un ejemplo de vida.

Mis sobrinos: Por ser una de las motivaciones más importantes para realizar y culminar este trabajo de graduación.

Mis amigos: Con quienes compartí experiencias de vida que se quedaron guardadas en mi memoria.

Docentes: Que durante esta etapa de mi vida compartieron sus conocimientos y fueron parte esencial en la realización de mi trabajo de graduación.

ÍNDICE

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL EUCALIPTO.....	2
2.1.1 Categoría taxonómica	2
2.1.2 Rango ecológico del <i>Eucalyptus urophylla</i>	3
2.1.3 Características de la madera.....	3
2.1.4 Usos de la madera	4
2.2 BIOMASA.....	4
2.2.1 Biomasa forestal.....	4
2.2.2 Utilización de la biomasa	4
2.2.3 Cultivos forestales energéticos	5
2.2.4 Características de biomasa del eucalipto.....	5
2.2.5 Dendroenergía.....	5
2.2.6 Plantaciones energéticas	6
2.2.7 Biomasa como fuente de energía renovable.....	6
2.2.8 Ventajas de la energía renovable	7
2.3 MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL.....	7
2.3.1 Clon	8
2.3.2 Jardines clonales	8
2.3.1 Silvicultura clonal	8
2.4 ÁREA CON VOCACIÓN FORESTAL	9
2.4.1 Plantación forestal	10
2.4.2 Manejo forestal sostenible	10
2.4.3 Reducción de la deforestación.....	10
2.4.4 Gestión de los recursos forestales.....	11
2.4.5 Clasificación de las plantaciones forestales.....	11
2.4.6 Clasificación con base al origen de las especies.....	11

2.4.7	Clasificación con base en el destino de la producción.....	11
2.4.8	Clasificación de acuerdo al propósito	12
2.4.9	Crecimiento de los árboles en masas forestales	12
2.4.10	Crecimiento en altura.....	12
2.4.11	Crecimiento en diámetro	12
2.4.12	Crecimiento en volumen.....	12
2.5	ANTECEDENTES	13
2.5.1	<i>Eucalyptus urophylla</i> en Guatemala	14
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	15
3.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3.2	JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	16
4.	OBJETIVOS.....	17
4.1	GENERAL	17
4.2	ESPECÍFICOS	17
5.	HIPÓTESIS	18
5.1	HIPÓTESIS NULA (H_0).....	18
5.2	HIPÓTESIS ALTERNA (H_a)	18
6.	METODOLOGÍA	19
6.1	LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO	19
6.1.1	Zona de vida	21
6.1.2	Suelos	21
6.1.3	Análisis de suelo	21
6.1.4	Clima	21
6.2	METODOLOGÍA CON BASE EN OBJETIVOS.....	22
6.3	ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO	22
6.4	MATERIAL EXPERIMENTAL	23
6.5	FACTOR ESTUDIADO.....	23
6.6	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	23
6.7	DISEÑO EXPERIMENTAL	24
6.8	MODELO ESTADÍSTICO	24
6.9	UNIDAD EXPERIMENTAL	24
6.10	CROQUIS DE CAMPO.....	25

6.11 REPETICIONES.....	26
6.12 MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	26
6.12.1 Control de malezas.....	27
6.12.2 Control de plagas y enfermedades.....	27
6.12.3 Identificación del ensayo.....	27
6.13 VARIABLES DE RESPUESTA.....	27
6.13.1 Diámetro a la altura del pecho.....	28
6.13.2 Altura total.....	28
6.13.3 Volumen.....	28
6.13.4 Volumen total.....	28
6.13.5 Supervivencia.....	29
6.13.6 Forma.....	29
6.14 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	29
6.14.1 Análisis estadístico.....	30
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
7.1 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS DE LOS MATERIALES GENÉTICOS DE <i>Eucalyptus urophylla</i>	31
7.2 ANÁLISIS DEL DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP).....	31
7.2.1 Diámetro a la altura del pecho DAP 2do. año de desarrollo.....	31
7.2.2 Diámetro a la altura del pecho DAP 2 años y 6 meses de desarrollo.....	32
7.2.3 Diámetro a la altura del pecho DAP 3er. año de desarrollo.....	33
7.3 ANÁLISIS DE LA ALTURA TOTAL.....	35
7.3.1 Altura total a los 2 años.....	35
7.3.2 Altura total a los 2 años y 6 meses.....	36
7.3.3 Altura total a los 3 años.....	37
7.4 PRODUCTIVIDAD.....	38
7.4.1 Análisis del volumen por hectárea.....	39
7.4.2 Volumen al 2do. año de desarrollo.....	39
7.4.3 Volumen a 2 años y 6 meses de desarrollo.....	40
7.4.4 Volumen al 3er. año de desarrollo.....	41
7.5 ANÁLISIS DE SOBREVIVENCIA.....	42
7.6 ANÁLISIS FENOTÍPICO.....	44
7.7 ANÁLISIS INTEGRADOR DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA.....	45

8. CONCLUSIONES	47
9. RECOMENDACIONES	48
10. BIBLIOGRAFÍA	49
11. ANEXOS	55
1. Boleta de campo 1: evaluación de crecimiento y desarrollo	56
2. Boleta de campo 2: sobrevivencia	57
3. Condiciones climáticas: La Tinta y San Juan Chamelco A.V.	58
4. Comparativos de clones a los dos años de desarrollo	58
5. Resultados del clon 966 (T4) durante los tres años de desarrollo	59
6. Mejores materiales clonales al tercer año de desarrollo	59
7. Resultados para la estimación de volumen al tercer año	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del <i>Eucalyptus urophylla</i>	2
Cuadro 2. Poder calorífico de especies en plantaciones energéticas	6
Cuadro 3. Identificación y número de plantas por tratamientos	23
Cuadro 4. Análisis de varianza (SC Tipo I) para DAP a los 2 años	31
Cuadro 5. Prueba de Tukey para la variable DAP al segundo año	32
Cuadro 6. Análisis de varianza (SC Tipo I) para el DAP 2 años y 6 meses	32
Cuadro 7. Prueba de Tukey para la variable DAP a los 2 años y 6 meses	33
Cuadro 8. Análisis de varianza (SC Tipo I) para el DAP a los 3 años	34
Cuadro 9. Prueba de Tukey para la variable DAP a los 3 años	34
Cuadro 10. Análisis de varianza (SC Tipo I) de altura Total a los 2 años	35
Cuadro 11. Prueba de Tukey para la variable altura a los 2 años	35
Cuadro 12. Análisis de varianza (SC Tipo I) de altura total a los 2 años y 6 meses	36
Cuadro 13. Prueba de Tukey para la variable altura a los 2 años y 6 meses	37
Cuadro 14. Análisis de varianza (SC Tipo I) de altura total a los 3 años	37
Cuadro 15. Prueba de Tukey para la variable altura a los 3 años	38
Cuadro 16. Análisis de varianza (SC Tipo I) volumen a los 2 años	39
Cuadro 17. Prueba de Tukey para la variable volumen al segundo año	39
Cuadro 18. Análisis de varianza (SC Tipo I) volumen a los 2 años y 6 meses	40
Cuadro 19. Prueba de Tukey para la variable volumen a los 2 años y 6 meses	41
Cuadro 20. Análisis de varianza (SC Tipo I) volumen a los 3 años	41

Cuadro 21. Prueba de Tukey para la variable volumen al tercer año	42
Cuadro 22. Análisis de varianza (SC Tipo I) sobrevivencia al 3er. año	43
Cuadro 23. Análisis de varianza (SC Tipo I) forma al 3er. año	44
Cuadro 24. Prueba de Tukey sobrevivencia al 3er. año	44
Cuadro 25. Condiciones climáticas en la Tinta y San Juan Chamelco A.V.	58
Cuadro 26. Comparación del clon 1084 a los dos años de desarrollo	58
Cuadro 27. Comparación del clon 1066 a los dos años de desarrollo	58
Cuadro 28. Comparación del clon 1214 a los dos años de desarrollo	58
Cuadro 29. Resultados del clon 966 durante los tres años de desarrollo	59
Cuadro 30. Mejores materiales clonales al tercer año de desarrollo	59
Cuadro 31. Resultados para la estimación de volumen al tercer año	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación política de la finca: Universidad Rafael Landívar, Campus de la Verapaz..	19
Figura 2. Vías de acceso: finca de la Universidad Rafael Landívar (Km 218.5).....	20
Figura 3. Mapa de ubicación del experimento	20
Figura 4. Representación de las unidades experimentales.....	25
Figura 5. Croquis de campo: aleatorización de las 30 unidades experimentales y tratamientos	26
Figura 6. Códigos de forma del fuste.....	29
Figura 7. Diámetros al tercer año de establecimiento por tratamientos	34
Figura 8. Alturas al tercer año de establecimiento por tratamientos	38
Figura 9. Volumen al tercer año de establecimiento por tratamientos.....	42
Figura 10. Sobrevivencia al tercer año de establecimiento	43
Figura 11. Análisis fenotípico al tercer año de establecimiento.....	45

EVALUACIÓN DE MATERIALES GENÉTICOS DE *Eucalyptus urophylla* EN EL TERCER AÑO DE DESARROLLO; SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ

RESUMEN

El proyecto se realizó en las instalaciones del Campus “San Pedro Claver, S.J.” 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* en el tercer año de desarrollo, mediante tres mediciones generales: dos años, dos años y medio y tres años de desarrollo. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 5 tratamientos y 6 repeticiones. Los datos obtenidos en las mediciones se tabularon y se procesaron con la ayuda del software InfoStat®. Se realizó el análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% y se utilizó la prueba de Tukey en forma descendente para comparar las medias de plantas netas. Las variables evaluadas fueron: diámetro a la altura del pecho (cm), altura total (m), volumen por hectárea (m³/ha), sobrevivencia (%) y formas de fuste (%). Según el análisis estadístico el mejor tratamiento fue el clon 966 (T4), mostrando en cuatro variables diferencias estadísticamente significativas. Los resultados obtenidos fueron: el clon 966 presentó un promedio de desarrollo de 11.06 centímetros de DAP, altura total de 13.30 metros y productividad media de 603.92 m³/ha, con un incremento medio anual en volumen de 201.30 m³/ha. Con relación a la sobrevivencia, todos los materiales presentaron un porcentaje promedio de 94.81% y la evaluación fenotípica en los materiales 966, 1084, 980 y 1214 presenta fustes rectos en un 100%. Únicamente el clon 1066 presentó fustes con forma bifurcada en un 6% a los tres años de establecimiento.

EVALUATION OF GENETIC MATERIALS OF *Eucalyptus urophylla* IN THE THIRD YEAR OF DEVELOPMENT; SAN JUAN CHAMELCO, HIGH VERAPAZ

SUMMARY

The project was carried out at the Campus "San Pedro Claver, S.J." of Rafael Landívar University in San Juan Chamelco Township, A.V. The general objective was to evaluate the five genetic materials adaptability of *Eucalyptus urophylla* in the third year of development, using three general measures: two years, two and a half years and three development years. A randomized complete block experimental design with 5 treatments and 6 replicates was used. The data obtained in the measurements were tabulated and processed using InfoStat[®] software. The variance analysis was performed with a confidence level of 95% and Tukey's test was used in descending order to compare the net plants means. The evaluated variables were: diameter at breast height (cm), total height (m), volume per hectare (m³ / ha), survival (%) and stem forms (%). According to the statistical analysis the best treatment was clone 966 (T4), showing in four variables statistically significant differences. The obtained results were: clone 966 presented an 11.06 cm average development of DAP, total height of 13.30 meters and average productivity of 603.92 m³/ha, with an average annual increase in volume of 201.30 m³/ha. In relation to survival, all materials presented an average percentage of 94.81% and phenotypic evaluation presented straight shafts in 100% in materials 966, 1084, 980 and 1214. Only clone 1066 presented bifurcate shaped shafts in 6% at three years of establishment.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones energéticas otorgan beneficios económicos como adaptación a condiciones climáticas para la producción de madera, leña o carbón, sociales como desarrollo de mercados o fuentes de empleo y ambientales mediante la conservación de ecosistemas. Según Ruiz (2015), el *Eucalyptus* tiene la capacidad de producir mayor volumen de madera por unidad de área en un ciclo relativamente corto.

Las fuentes energéticas ofrecen opciones de desarrollo que responden a la demanda de consumo en el menor tiempo de producción. El *Eucalyptus urophylla* no tiene mayor requerimiento edáfico, es apropiado para reforestación, tanto en suelos inundados y en suelos secos de tierras tropicales, además de ser una opción novedosa para la producción de biomasa (Sein y Mithöhner, 2011).

De acuerdo a IARNA (2007), el consumo total anual de energía por uso de leña en los hogares del país equivale al 67.3%, comparando este dato con INAB (2008), que indica que la leña contribuye con 65.8% como fuente de energía, demuestra que la leña es la mayor fuente de energía primaria del país. Según INAB (2012), en Guatemala se encuentran plantadas 1717.19 ha de eucalipto, representando un 1.68% del total de áreas plantadas. Debido a su adaptabilidad, las especies de eucalipto son productivas, respondiendo a variables dasométricas, fácil cultivo y adecuada planificación para plantaciones industriales y energéticas.

Esta investigación presenta los resultados acerca del desarrollo de cinco materiales genéticos de *Eucalyptus urophylla*, en el Campus de la Universidad Rafael Landívar, San Juan Chamelco, Alta Verapaz, donde el experimento tuvo como finalidad evaluar la adaptabilidad de los materiales genéticos en su tercer año de desarrollo, mediante la estimación de variables de desarrollo y uso potencial como bosques energéticos. Este proceso se basa en un ensayo utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos y seis repeticiones mediante tres mediciones generales: dos años, dos años y seis meses y tres años de desarrollo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL EUCALIPTO

El género eucalipto fue descrito por primera vez en 1788 por Charles Louis L'Heritier de Brutelle (Badilla & Murillo, 2005). Según Joker (2004) citado por Sein y Mitlöhner (2011), la corteza del eucalipto varía dependiendo de la disponibilidad de humedad y la altitud, pero generalmente es persistente y con fibras color marrón rojizo, además presenta fisuras con poca profundidad. El eucalipto es un árbol originario de Tasmania, Australia con característica perenne con porte recto. El *Eucalyptus urophylla* puede alcanzar alturas de 45 a 55 metros y pertenece a la familia *Myrtaceae*.

El género incluye aproximadamente 600 especies identificadas, la mayoría se encuentran distribuidas en el mundo debido a su acelerado crecimiento para producción forestal (Badilla & Murillo, 2005).

2.1.1 Categoría taxonómica

Muro (2016), clasifica al *Eucalyptus urophylla* de la siguiente manera:

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del *Eucalyptus urophylla*:

<i>Eucalyptus urophylla</i>	
Origen	Australia e Indonesia
Familia	<i>Myrtaceae</i>
Género	<i>Eucalyptus</i> , subdividido recientemente en: <i>Eucalyptus</i> (<i>bloodwoods</i>) y <i>Corymbia</i> (<i>non-bloodwoods</i>).
Sub-géneros	<i>Monocalyptus</i> , <i>Symphyomyrtus</i> , <i>Telocalyptus</i> , <i>Eudésmia</i> , <i>Gaubeae</i> , <i>Idiogenes</i> .
Secciones	(<i>Monocalyptus</i>) <i>Renantheria</i> , <i>Rufaria</i> (<i>Symphyomyrtus</i>) <i>Transversaria</i> , <i>Exertaria</i> , <i>Maidenaria</i> , entre otras.
Series	<i>Salignae</i> , <i>Resiniferae</i> , entre otras.
Especies	<i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. pellita</i> , <i>E. resinífera</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>E. globulus</i> , <i>E. dunnii</i> , entre otras.

Fuente: Muro (2016).

Nombre comunes: Bach dan *urophylla* (Vietnam); goma blanca Timor, Timor goma de montaña (Reino Unido); Popo, Ampupu (Indonesia); Palavao Preto (Portugal); Eucalipto (Brasil); Eucalipto (Guatemala), Joker (2004); citado por Sein y Mitlöhner (2011).

2.1.2 Rango ecológico del *Eucalyptus urophylla*

El *Eucalyptus urophylla* tiene el mayor rango en altitud que cualquier otro eucalipto, abarca desde 1000-2960 msnm en Timor y 70 a 800 msnm en Wetar. Con frecuencia se encuentra como especie dominante en bosque montano secundario. Según Sein y Mitlöhner (2011), el rango natural de *Eucalyptus urophylla* está en zonas húmedas y zonas climáticas subhúmedas, a una altitud de alrededor de 400 m, la máxima temperatura media durante el mes más caluroso es de 27-30 °C, y puede caer de 15-21 °C a 1900 msnm, donde la temperatura media del mes más frío es 8-12 °C.

2.1.3. Características de la madera

De acuerdo a Sein y Mitlöhner (2011), la madera de eucalipto es pesada, el duramen es de color marrón rojizo, la albura es de color blanco, crema o rosado claro, además posee de 20 a 60 mm de espesor, y está claramente diferenciada del duramen. El grano es recto a entrecruzado y la textura moderadamente delgada a gruesa. El duramen es generalmente resistente a los tratamientos de conservación y la albura es permeable, además presenta una figura en forma de cinta se presenta a menudo en las superficies de corte radial. La tasa de contracción es de moderada a alta; 1,8 - 3,0 % (-4,4 %) radial; y 3,4 a 7,0 % (-8,9 %) tangencial; verde, a 12 % de contenido de humedad.

El árbol de eucalipto es una especie de rápido crecimiento y posee un alto valor calorífico (4.300 kcal/kg), siendo este una opción factible en desarrollar proyectos de generación de biomasa (de León, 2010).

Esta especie además ofrece mayor rendimiento de producción, mayor protección ambiental, mayores oportunidades de mercadeo y mejoría en avances tecnológicos. La madera es un recurso renovable de corto ciclo, versátil y de fácil manejo, funciona como aislante térmico, presenta excelente relación de peso/resistencia y bajo consumo energético por tonelada (DEFOSCAR, 2016).

2.1.4 Usos de la madera

La madera de *Eucalyptus urophylla* se utiliza para la producción de pulpa y fuentes energéticas como leña y carbón vegetal. También se utiliza para postes de larga duración y pilotes, construcción ligera y pesada, ebanistería, carpintería y para contrachapado y tableros de aglomerado. Es útil en la protección de riberas de los ríos y proporcionando sombra PROSEA (1993), citado por Sein y Mitlöhner (2011).

2.2 BIOMASA

Es la materia orgánica que puede ser utilizada para la producción de energía a partir de fuentes energéticas primarias, entre ellos: residuos forestales, agricultura, aserradero y plantaciones energéticas (IARNA-URL, 2009). Al hablar de fuentes energéticas primarias destacan la leña y carbón como alternativas de desarrollo social.

2.2.1 Biomasa forestal

Es la procedente de prácticas silvícolas (selección de brotes y cortas sanitarias) y la que se aprovecha de los restos de madera (ramas y cortezas, raberones y tocones). Según el tamaño de partícula de biomasa forestal, está puede ser a granel, pre-triturada, triturada o astillada (ENCE, 2010).

2.2.2 Utilización de la biomasa

De acuerdo a ENERSILVA (2007), la transformación de la biomasa puede dar origen a distintas energías y diversos usos:

Energía térmica

Los sistemas de combustión directa (leña, carbón) se pueden utilizar para cocinar alimentos, para calefacción o secado. Además, es posible aprovechar el vapor que se desprende para producir electricidad o para procesos industriales.

Energía eléctrica

Se obtiene a partir de la transformación de biomasa procedente de cultivos energéticos, de la biomasa forestal primaria y de los residuos de las industrias. En determinados

procesos, el biogás resultante de la fermentación de la biomasa también se puede utilizar para la producción de electricidad.

Biogás: este proceso de transformación se realiza en un digestor, donde se acumulan restos orgánicos y otros residuos, que son fermentados por la acción de microorganismos y luego la mezcla de gases producidos se almacena o transporta para ser usados como combustible.

2.2.3 Cultivos forestales energéticos

Según ENCE (2010), son plantaciones forestales cuyo periodo de cosecha se limita dos o tres años, según la especie. Su gestión es prácticamente idéntica a la de cultivos forestales para otras aplicaciones industriales.

2.2.4 Características de biomasa del eucalipto

El poder calorífico es la característica primaria de combustión. El eucalipto posee un valor calorífico factible para la planificación de bosques energéticos. La biomasa del eucalipto tiene la característica de rápido crecimiento y desarrollo vigoroso (FAO, 2012).

2.2.5 Dendroenergía

Es la energía derivada directa o indirectamente de la biomasa leñosa, que corresponde al poder calorífico neto del combustible (FAO, 2012). La dendroenergía es una fuente potencial de energía renovable y, por esta razón varios países desarrollados se interesan en incrementar su utilización. El uso de la dendroenergía se divide como: leña, 90%; licor negro, 6 %; carbón vegetal, 4 %.

La importancia de la dendroenergía como forma de utilización de los bosques y árboles varía según los países y regiones. En general, el combustible de madera (es decir, la leña y el carbón vegetal) representa un 53 por ciento aproximadamente del total de madera en rollo que se produce en el mundo. En cuanto a la distribución de la producción de combustible de madera entre las regiones, la mayor parte corresponde a Asia (44 por ciento aproximadamente), seguida de África (21 por ciento). En conjunto,

Asia, África y América del Sur y Central representan el 76 por ciento de la producción mundial de combustibles de madera (Dendroenergía, 2012).

2.2.6 Plantaciones energéticas

Son plantaciones planificadas con periodos de evaluación estrictos para la producción de fuentes energéticas (FAO, 2012). El eucalipto presenta mayor poder calorífico en comparación a las especies tradicionales para la producción de madera (ver cuadro 2).

Para el éxito de una plantación energética se deben seleccionar los mejores clones o semillas para optimar recursos y mejorar la producción en tiempos de trabajo definidos. Las plantaciones energéticas de eucalipto tienen un periodo de cosecha entre tres a diez años para la toma de decisiones y aprovechamiento (De León, 2010).

Cuadro 2. Poder calorífico de especies en plantaciones energéticas:

Poder calorífico inferior de la leña seca	
Especie:	Calor específico de combustión (BTU/LB):
Eucalipto	8254.5
Pino	8770.4
Cedro	7738.6
Ciprés	9200.3
Encino	8383.4

Fuente: (FAO, 2012).

2.2.7 Biomasa como fuente de energía renovable

Es un tipo de energía procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente es obtenida de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos (plantas, animales), o sus restos y residuos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente por combustión, o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos (Castilla-La Mancha, 2004).

De acuerdo a Energías Renovables (2014), mediante la fotosíntesis las plantas capturan energía del sol. Esta energía se acumula en la madera, cáscaras de frutos, plantas, y otros residuos orgánicos que al quemarse liberarán energía acumulada, esta

es la energía de la biomasa que se considera renovable. La biomasa tiene un amplio abanico de usos tales como el uso directo quemándola para obtener calor o para generar electricidad mediante turbinas de vapor. La biomasa también se puede emplear en la obtención de gas metano, biodiesel y otros biocombustibles.

2.2.8 Ventajas de la energía renovable

Según Energías Renovables (2014), estas ventajas pueden ser:

- Ayuda a la economía de los sectores rurales: la biomasa se basa de los residuos orgánicos vegetales que se trabajan en los sectores rurales.
- Es abundante: a diferencia de otras energías, la biomasa es constante y puede ser aprovechada por ciclos de producción.
- Beneficios ambientales: esta energía es renovable y no proporciona contaminación al ecosistema.
- Prometedora: se la ve con un gran futuro, debido a que esta energía es renovable y a la vez sostenible.

2.3 MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL

El mejoramiento genético concatena ciencia con diseños de experimentos para optimizar recursos y mejorar el rendimiento de sistemas forestales tomando como base altura, densidad y poder calorífico. El *Eucalyptus urophylla* tiene una gran posibilidad de combinaciones genéticas, debido a sus características de adaptación y crecimiento en distintos tipos de suelos y clima (Muro, 2016).

La FAO (2003), lo define como la aplicación de principios genéticos para la producción de árboles con caracteres específicos. Según Balocchi y De Veer (1994) el principal objetivo de los ensayos genéticos es estimar en forma adecuada el potencial genético del material evaluado para aquellos sitios donde se pretende ser utilizado operacionalmente.

El mejoramiento genético tiene como objetivos maximizar características como: i) adaptabilidad de una especie a un sitio potencial, ii) mayor productividad, iii) resistencia a enfermedades y iv) calidad del producto final (Mesén, 1994).

2.3.1 Clon

Consiste en la sistematización de especies vegetales genéticamente idénticas por reproducción asexual para la obtención de material genético de mejor desarrollo. Es el conjunto de plantas genéticamente idénticas, obtenidas todas ellas por propagación vegetativa de un individuo seleccionado y descifrado por un nombre vernáculo procedente de la abreviatura “cl” (FAO, 2003- 2006).

Eguiluz (1988), define al clon como: grupo de árboles genéticamente idénticos, derivados asexualmente de un solo genotipo. Se les llama rametos a estos árboles y a su antecesor orteto.

El *Eucalyptus urophylla* posee características de mejoramiento genético

- Control genético (efectos aditivos y desvíos de dominancia).
- Posibilidad de ganancia por unidad de tiempo.
- Conocimiento e importancia de la interacción con el ambiente.
- Variabilidad de la población de mejoramiento (Muro, 2016).

2.3.2 Jardines clonales

Son plantaciones de alta densidad y manejo específico, cuyo objetivo es la reproducción de yemas de material vegetal genéticamente seleccionadas, que garanticen una alta producción, adaptabilidad a las condiciones agroecológicas del y resistencia de enfermedades (ASOHECA, 2009). Dentro de un jardín clonal se cuenta con una colección completa de árboles plus seleccionados para aprovechar los materiales genéticos manteniendo rigurosamente la identidad de todo el material.

2.3.3 Silvicultura clonal

La silvicultura clonal utiliza propágulos vegetativos de clones seleccionados para propósito de plantaciones y es muy común en sauces y álamos, y más recientemente en eucaliptos y en pinos (Carpineti, 2005).

La silvicultura clonal ofrece ventajas como:

En el caso de la productividad de las plantaciones, la magnitud de las ganancias genéticas obtenidas por intermedio de la selección y la velocidad con la cual éstas ganancias pueden ser materializadas, o sea transferidas a la industria con grandes beneficios cuantitativos y cualitativos, es una de las mayores ventajas del uso de clones en modo operacional (Carpinetti, 2005). Otras ventajas incluyen:

- La habilidad de capturar rápidamente una mayor proporción de la variación genética de la que puede obtenerse por cruzamiento.
- La producción masiva de individuos superlativos que reúnen características únicas.
- La capacidad de utilizar la especificidad de un clon para potenciar la expresión en sitios específicos o bien utilizar clones de amplia adaptación a diversos sitios.
- La posibilidad de mejorar sustancialmente la inversión forestal por una mayor productividad, mejor calidad y uniformidad del producto final y reducción de los turnos de corta.

Entre las desventajas del uso de clones se encuentran:

- La variación genética en variables cuantitativas y cualitativas que se traducen en plantaciones más productivas y uniformes. Esto, si bien es muy ventajoso, también aumenta los riesgos a variantes climáticas inesperadas (heladas, sequías, exceso de lluvias) y de plagas y enfermedades que deben contrarrestarse con una estrategia de silvicultura clonal adecuada (Carpinetti, 2005).

2.4 ÁREA CON VOCACIÓN FORESTAL

Se refiere al área con cobertura boscosa de la unidad de manejo con capacidad de uso, potencial o vocación para el manejo forestal en cualquiera de sus modalidades u opciones de aplicación (INAB, 2014). Es el sitio ideal según propósito, para generar y aprovechar productos maderables mediante sistemas de manejo. Permite la planificación para generar proyectos forestales perfectibles.

2.4.1 Plantación forestal

Área Forestal de Producción: Área con cobertura forestal en la cual es viable el aprovechamiento forestal bajo criterios de manejo sostenible (INAB, 2014).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2002), las plantaciones forestales se definen como aquellas formaciones forestales sembradas en el contexto de un proceso de forestación o reforestación. Estas pueden ser especies introducidas o nativa que cumplen con los requisitos de una superficie mínima de 0.5 ha; una cubierta de copa de al menos el 10% de la cubierta de la tierra, y una altura total de los árboles adultos por encima de los 5 m.

Una plantación forestal es simple y uniforme en cuanto a su estructura, la composición de especies y en su capacidad para aprovechar la energía solar y el reciclaje del agua y de los nutrientes. En estas condiciones, el ser humano puede controlar la genética, el crecimiento, la fertilidad, las relaciones hídricas y en general, el desarrollo de los árboles (Richter, *et al.*, 1995), citados por IARNA-URL (2003).

2.4.2 Manejo forestal sostenible

Se refiere a la modificación ordenada del bosque para un objetivo determinado: productos forestales, protección y conservación. La FAO lo define como un concepto dinámico y en evolución, que tiene como objetivo conservar y aumentar los valores económicos, sociales y ambientales de todos los tipos de bosque en beneficio de las generaciones presentes y futuras (INAB, 2014).

2.4.3 Reducción de la deforestación

Existe la necesidad de reducir la deforestación y degradación de los bosques, una a opción para la conservación de recursos naturales, es mediante el valor económico de los bosques, incentivando la conservación de ecosistemas a través del manejo forestal sostenible y el pago por servicios ambientales (FAO, 2017). Guatemala cuenta con la Ley PROBOSQUE, que en su artículo 10: contempla las plantaciones con fines energéticos como modalidad a incentivar (PROBOSQUE, 2015).

2.4.4 Gestión de los recursos forestales

El manejo forestal sostenible va mucho más allá de la problemática de la deforestación y reforestación: tiene que ver con las sociedades y las personas, y la necesidad de que ellas mismas puedan mantener y aumentar los servicios, beneficios económicos y la salud de los bosques para su propio desarrollo y mejor calidad de vida (FAO, 2017). Las organizaciones de base comunitaria y debidamente organizadas son claves para implementar con éxito el manejo forestal sostenible.

2.4.5 Clasificación de las plantaciones forestales

Una plantación forestal se define como la acción de plantar árboles con el objetivo de crear un bosque determinado o especial. Los más comunes son: a) clasificación determinada por el ecosistema, b) clasificación en función de la composición florística de la plantación, c) clasificación determina por el origen de las especies y, d) clasificación con base en el destino de la producción (IARNA-URL, 2003).

2.4.6 Clasificación con base al origen de las especies

Según IARNA-URL (2003) la clasificación puede ser:

- Plantación nativa: plantaciones que utilizan especies pertenecientes al sistema natural donde se establecen.
- Plantación exótica: plantaciones con especies que no pertenecen al sistema natural en cual se establecen.
- Plantación combinada: plantaciones que utilizan el mismo espacio geográfico con especies nativas y exóticas.

2.4.7 Clasificación con base en el destino de la producción

De acuerdo a IARNA-URL (2003), la clasificación en la producción puede ser:

- Plantación industrial: plantaciones cuyos productos están dirigidos a abastecer la industria.
- Plantación energética: plantaciones cuyos productos están dirigidos a ser utilizados como combustibles.

2.4.8 Clasificación de acuerdo a su propósito

Según Vásquez (2001), las plantaciones de acuerdo a su propósito se clasifican en:

- Usos industriales: combustibles, madera de aserrío, pulpa, tableros de laminados, tableros aglomerados, productos extractivos, alimentos y frutos.
- Protección medioambiental: para recuperar y detener la erosión del suelo y evitar el lavado del mismo, estabilizar la superficie del suelo con barreras contra el agua y el viento. Protección de aguas y manantiales.
- La siembra de árboles para el paisajismo: sombra, producción de oxígeno, refugio y alimentación para animales (frutos y nueces), conservación de germoplasma y mejoramiento de la calidad de vida.

2.4.9 Crecimiento de los árboles y masas forestales

Se entiende por crecimiento el aumento gradual del valor de las variables que se miden, este aumento es producto de la actividad fisiológica de la planta y está influenciado por factores genéticos, ambientales y tiempo de desarrollo (INAB, 1999).

2.4.10 Crecimiento en altura

El crecimiento e incremento en altura está menos influenciado por el medio ambiente que el crecimiento en diámetro y depende más de las reservas materiales que el árbol acumula durante el último año, es por ello que estos presentan un gran desarrollo radicular en su etapa inicial (UACH, 1983).

2.4.11 Crecimiento en diámetro

El incremento en diámetro depende de la cantidad de reservas materiales nutricionales acumuladas por el árbol; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando al haber mayor espacio y entradas de luz (UACH, 1983).

2.4.12 Crecimiento en volumen

Es el rendimiento de madera de un árbol o masa boscosa según la unidad de medida determinada (INAB 2004). El volumen de un árbol es producto de su crecimiento en diámetro y la altura (UACH, 1983; INAB, 1999).

2.5 ANTECEDENTES

Actualmente Guatemala cuenta con poca investigación acerca del rendimiento de semillas y clones de eucalipto.

- i) En el año 2003, se realizaron pruebas de campo para determinar la producción y rendimiento de biomasa. En la Costa Sur durante el año 2004 se sembraron 6 parcelas con diferentes especies de eucalipto: *deglupta*, *camaldulenses*, *urograndis*, *grandis*, *citriodora*, *tereticornis*, *saligna* y *globulus*. Según Alvarado (2007), estos experimentos se establecieron en diferentes fincas, con diversas características de sitio y clima. Al siguiente año fueron evaluados, donde las variedades *grandis*, *urograndis* y *camaldulensis*, mostraron resultados satisfactorios al superar los siete metros de altura y diámetros mayores a siete centímetros.
- ii) En el municipio de San Juan Chamelco, A.V., durante el año 2013 se estableció una plantación de *Eucalyptus urophylla* ST. Blake, donde el objeto principal fue evaluar la sobrevivencia, de cinco materiales clonales durante el primer año de establecimiento. De acuerdo a García (2016), las variables evaluadas fueron: DAP, altura total, volumen ha-1 y biomasa ha-1. Los resultados obtenidos fueron: sobrevivencia: todos los materiales clonales presentan un porcentaje por arriba del 85%; el crecimiento en DAP oscila entre 2.59 y 3.32 cm sin 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.
- iii) De acuerdo a De la Vega, (2016), en el municipio de La Tinta, A.V., durante el año 2014 se estableció una plantación de clones de *Eucalyptus spp* mostrando al clon 1066 con mejores resultados en altura y volumen con diferencias significativas y al clon 1214 con el mejor desarrollo de DAP.

- iv) Durante el año 2014, con base a Daetz (2015), se establecieron clones de eucalipto en el municipio de Lanquín, A.V., como materiales de biomasa. Mediante la evaluación a 12 meses el clon CA-30 mostró mejores promedios de desarrollo, pero sin diferencias significativas entre los materiales evaluados.

El eucalipto es una especie plantada mayormente con fines energéticos, para la alimentación de calderas de industrias azucareras y de cemento en Guatemala. En la actualidad se espera que las plantaciones de esta especie aumenten, debido a la construcción de plantas generadoras de energía eléctrica a base de carbón, las cuales utilizarán una parte de madera como insumo para la generación de energía (Zamora y Barrera, 2010). Tomando como base estos datos, se puede decir que la dendroenergía otorga opciones de desarrollo derivadas directa o indirectamente de la biomasa leñosa, que corresponde al poder calorífico neto del combustible (FAO, 2004).

La oferta total de leña en Guatemala asciende a 10, 045,899 toneladas secas anuales, por lo tanto el balance entre oferta/demanda global arroja un déficit de 5, 725,290 toneladas secas anuales (IARNA-URL, 2012). En Guatemala el consumo actual de biomasa con fines energéticos se estimó en 15, 771,187 toneladas de materia seca (Larrañaga y Flores, 2012). La implementación de plantaciones forestales puede activar el sector económico del país, basados en la potencialidad del suelo y las ventajas comparativas de producción (Zamora y Barrera, 2010).

2.5.1 *Eucalyptus urophylla* en Guatemala

De acuerdo con archivos de García, De Souza y Abad, (2004), esta especie fue introducida a Guatemala durante el año 2008, por la empresa guatemalteca PLANFORGUA, a las fincas: Los Cocos ubicada en Zacapa y finca Monterrey ubicada en Guatemala. Se reportan plantaciones de *E. urophylla* AR-09 (código de la empresa) en la finca Monterrey con un incremento medio anual total de (IMATOT) de 192 m³/ha, a los 5 años de establecimiento. Ambas plantaciones de PLANFORGUA demostraron excelente desarrollo y estados de sanidad.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo a las proyecciones demográficas del país INE (2015), la población para de Guatemala durante el año 2017 será de 16, 924,190 personas. Considerando el porcentaje de personas que depende del recurso leña 67.3% (IARNA, 2007) y la deforestación actual, se evidencia la necesidad de investigar alternativas para disminuir el avance de la frontera agrícola y conservación de los recursos naturales.

La leña es un recurso básico para satisfacer las demandas energéticas de la población guatemalteca, especialmente en las áreas rurales del país (IARNA-URL, 2012). Según Larrañaga y Flores (2012), el consumo de leña en Guatemala es de 15, 771,186 toneladas y donde Alta Verapaz consume alrededor de 1, 007,671 toneladas de materia seca al año. La oferta total de leña asciende a 10, 045,899 t seca anuales, por lo tanto el balance entre oferta/demanda global arroja un déficit de 5, 725,290 t seca anuales.

El consumo de biomasa con fines energéticos en el país se estimó en 15, 771,186.97 t seca anuales, de los cuales 15, 418,233.58 t demanda el sector residencial y 352,953.40 t demanda el sector industrial (INAB, IARNA-URL, FAO/GFP 2012).

La calidad genética es un factor que influye en el crecimiento y desarrollo de un árbol. La experimentación con clones de eucalipto muestra resultados positivos de rendimientos, esto se debe a la capacidad de producir mayor volumen de madera por unidad de área, en ciclos de tiempo relativamente cortos (Daetz, 2015).

En Centroamérica, Guatemala es el país con mayor dependencia de leña, producto utilizado por un 62.8% de la población para cocción de alimentos o como sistema de calefacción (OLADE, citado por SIGLO 21, 2013). La leña es el bien con mayor uso en Guatemala como fuente de energía primaria. De allí se desprende la necesidad de conocer la evolución de su consumo, para buscar soluciones integrales a las demandas energéticas locales.

3.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La destrucción de ecosistemas y pérdida de cobertura forestal es un problema ambiental que afecta al país de manera progresiva. En un lapso de diez años, las actividades del ser humano han causado la pérdida del 11% del recurso natural (IARNA-URL, 2012). Las plantaciones energéticas ofrecen manejo sostenible del recurso leña y mitigación al cambio climático a través de la conservación de los bosques del país; además de la producción, comercialización e industrializados de los recursos forestales y ambientales.

Las plantaciones energéticas son una alternativa para la reforestación y conservación de los bosques, además responden a los objetivos de la Ley Forestal (Decreto No. 101-96) en sus incisos a, c, d y e, y a la Ley PROBOSQUE (Decreto 02-2015), en su artículo 10 sobre modalidades a incentivar: establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales con fines energéticos.

De acuerdo a IARNA-URL (2003), la leña es un bien de desarrollo que contribuye como fuente energética del país con el 52% del consumo energético nacional y con más del 80% de las energías renovables consumidas en Guatemala.

La dendroenergía brinda opciones de desarrollo local a partir de biocombustibles primarios derivados de los bosques y enfocados a la producción de leña y carbón como fuentes energéticas o plantaciones comerciales. Según FAO (2016), la madera es considerada la primera fuente de energía de la humanidad. Actualmente, sigue siendo la fuente de energía renovable más importante que, por sí sola, proporciona más del 9% del suministro total de energía primaria a nivel mundial. La dendroenergía es tan importante como todas las otras fuentes de energía renovable juntas: hidroeléctrica, geotérmica, residuos, biogás, solar y biocombustibles líquidos.

Si bien dentro de las políticas energéticas del país se viene priorizando el aumento de la electrificación rural para la mejora de la calidad de vida de la población, la leña seguirá siendo en el corto y mediano plazo el insumo energético más importante en las comunidades rurales (INAB, IARNA-URL, FAO/GFP, 2012).

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Evaluar la adaptabilidad de los cinco materiales genéticos de *Eucalyptus urophylla*, en el tercer año de desarrollo bajo las condiciones del municipio de San Juan Chamelco.

4.2 ESPECÍFICOS

- Evaluar mediante rendimientos de producción los clones de *Eucalypto urophylla*, utilizando variables dasométricas.
- Estimar la productividad de los materiales genéticos durante su tercer año de establecimiento, mediante la evaluación de volumen total.
- Determinar el desarrollo fenotípico y porcentaje de sobrevivencia de los materiales genéticos como opciones dendroenergéticas contextualizadas.

5. HIPÓTESIS

5.1 HIPÓTESIS NULA (H_0)

- Ninguno de los materiales genéticos de *Eucalyptus urophylla* presentará un crecimiento estadísticamente significativo en el tercer año de desarrollo bajo las condiciones de San Juan Chamelco.

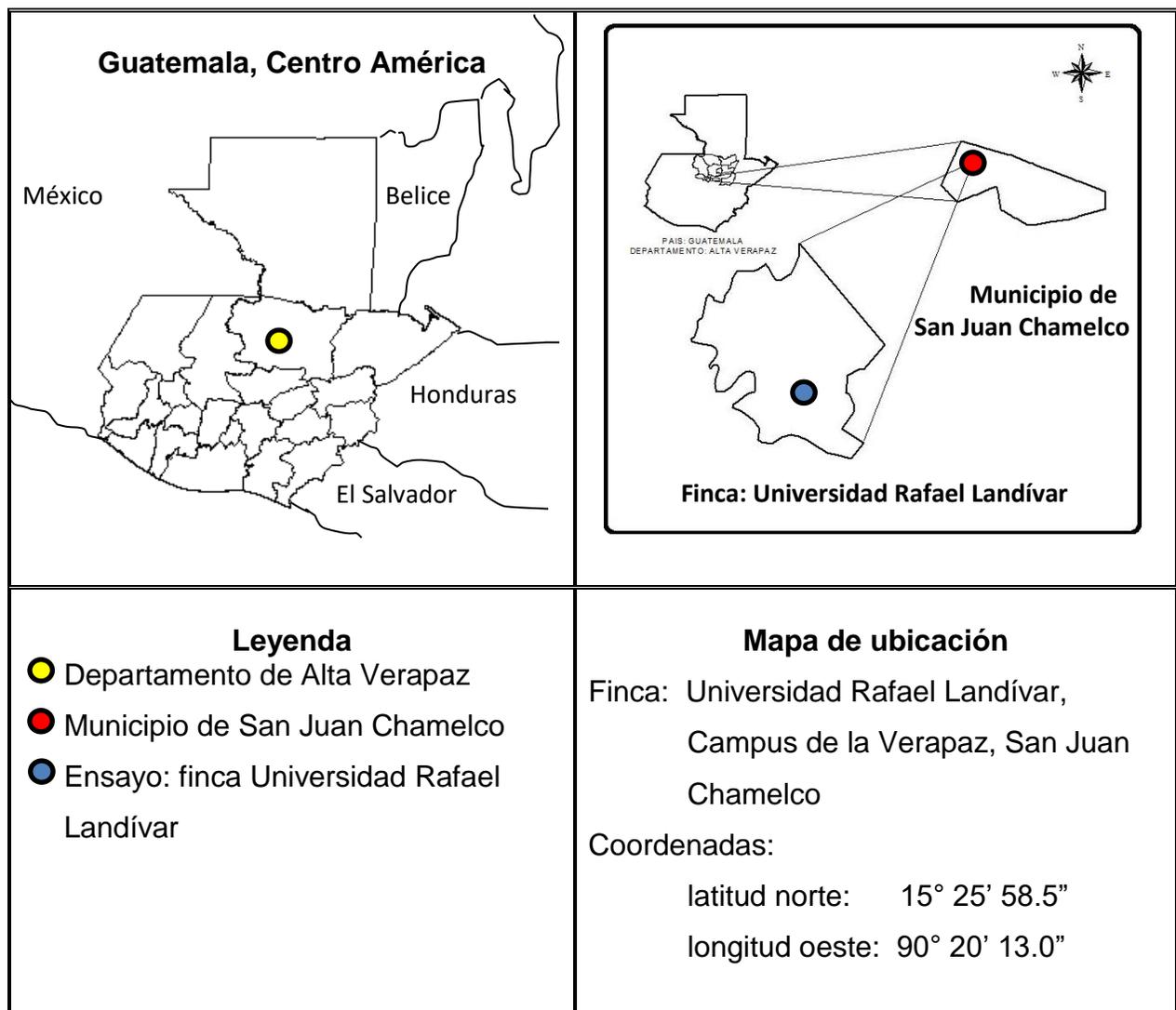
5.2 HIPÓTESIS ALTERNA (H_a)

- Al menos un material genético de *Eucalyptus urophylla* alcanzará un crecimiento estadísticamente significativo en el tercer año de desarrollo bajo las condiciones de San Juan Chamelco.

6. METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

La plantación se ubica en la finca de la Universidad Rafael Landívar, Campus de la Verapaz, localizada en el kilómetro 218.5, municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz (ver figura 1). Su ubicación geográfica corresponde a las coordenadas latitud norte: 15° 25' 58.5" y longitud oeste 90° 20' 13.0".



Fuente: elaboración propia

Figura 1. Ubicación política de la finca: Universidad Rafael Landívar, Campus de la Verapaz.

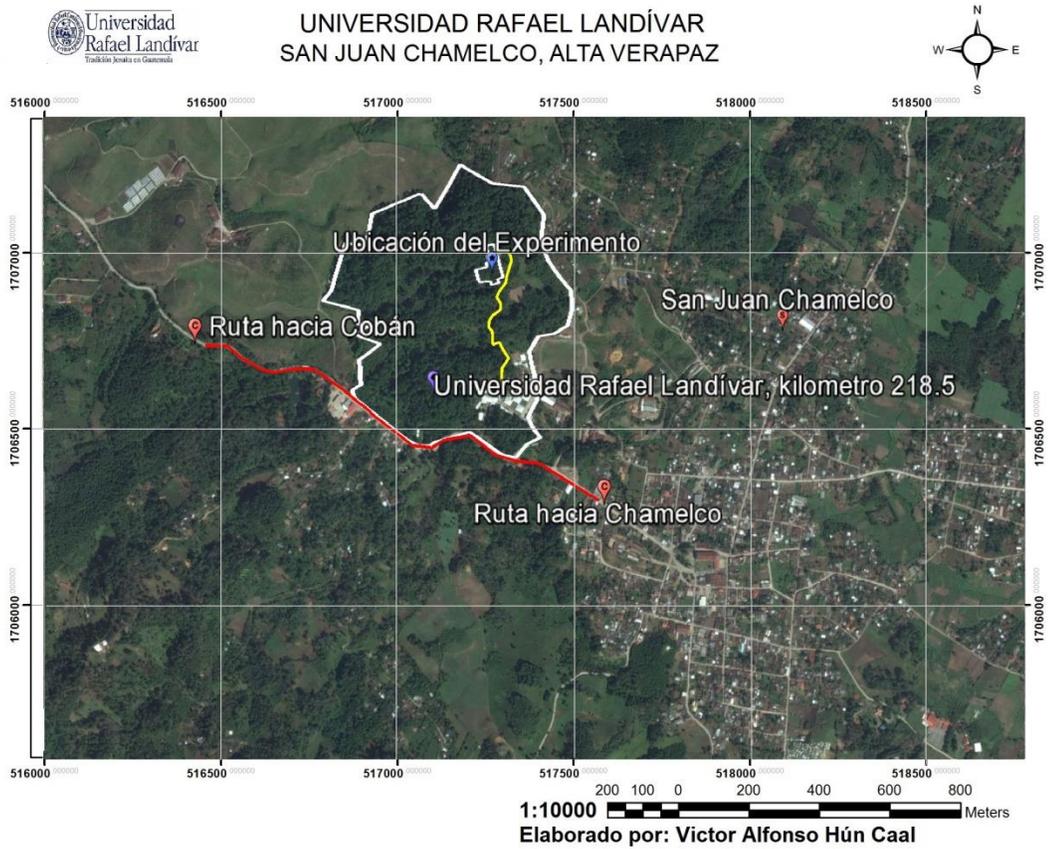


Figura 2. Vías de acceso: finca de la Universidad Rafael Landívar (Km 218.5).

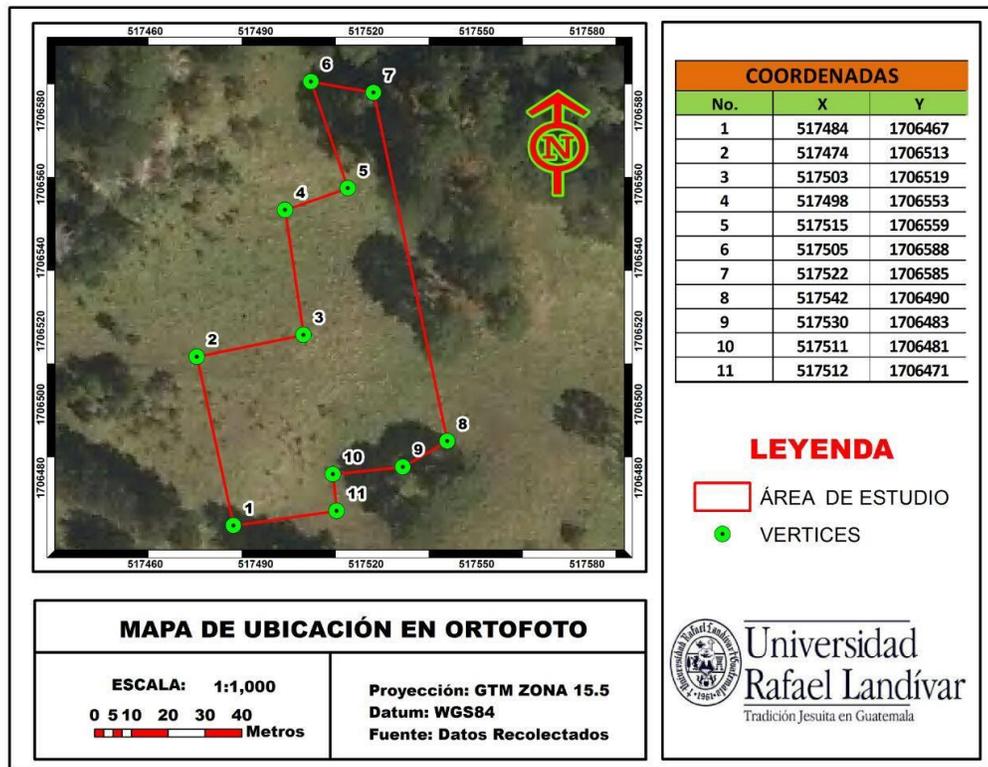


Figura 3. Mapa de ubicación del experimento

6.1.1 Zona de vida

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge para la República de Guatemala, el área de estudio se ubica dentro de la zona de vida: Bosque muy húmedo Subtropical frío bmh-S(f) (MAGA, 2002). El uso apropiado de estos terrenos es netamente de manejo forestal, con periodos de lluvia de mayo a noviembre (IARNA, 2010).

6.1.2 Suelos

El suelo del municipio de San Juan Chamelco, según la clasificación taxonómica de Guatemala pertenece a la orden de entisoles. Son suelos minerales derivados tanto de materiales aluviónicos como residuales, de textura moderadamente gruesa a fina, de topografía variable entre plana a extremadamente empinada. Son suelos jóvenes desarrollados sobre material parental no consolidado, en general no presentan horizontes genéticos ni de diagnóstico (IARNA, 2010).

6.1.3 Análisis de suelo

Para conocer a detalle las características del suelo donde se estableció la plantación sujeta a estudio, se tomó una muestra y se envió al laboratorio para su análisis, dando como resultados la siguiente información (García, 2016):

El suelo presenta textura franca arenosa, con un pH < 5.0 (fuertemente ácido), con deficiente Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva, deficiencia de Fosforo, Calcio, Azufre, Magnesio, Boro, Hierro, Zinc y exceso en contenido de materia orgánica (MO) y Manganeso (Mn). Además de presentar deficiencia en las bases intercambiables.

6.1.4 Clima

Según IARNA (2010) el área de estudio se encuentra a una altitud de 1350 metros sobre el nivel del mar, con clima templado y temperaturas entre 13 y 27 °C, donde la temperatura promedio de 20° C y con una precipitación total anual de 2181 mm.

6.2 METODOLOGÍA CON BASE EN OBJETIVOS

Para responder al objetivo general, durante el año 2015 se realizó una evaluación del crecimiento y desarrollo de los materiales genéticos durante el mes de octubre. Estos datos servirán como parámetros de comparación con las mediciones a realizar en el año 2016.

Posterior a la recopilación de información, se llevó a cabo la tabulación de datos y se realizó el análisis estadístico para conocer los promedios de las variables de respuesta (DAP, altura total, volumen total) de cada tratamiento y material clonal. Luego se realizó el análisis de varianza de las medias obtenidas para determinar si se acepta o rechaza la hipótesis planteada. Para la variable altura total, se conoció el crecimiento por periodo y comparación en tiempos de 6 meses utilizando el promedio estimado en cada tratamiento.

Para la evaluación fenotípica se clasificaron los materiales genéticos según los códigos de forma expresados en porcentajes (recto, sinuoso, bifurcado e inclinado). Además, para el análisis de sobrevivencia se realizó un conteo de los materiales vivos al finalizar el tercer año de evaluación. Para la verificación del rendimiento se tomó el crecimiento y velocidad de desarrollo como factor comparativo de evaluación.

En cuanto al volumen total, se utilizaron los promedios de cada tratamiento, para realizar las proyecciones a una hectárea al final del periodo de estudio. Se realizó análisis de varianza de bloques completamente al azar con un nivel de confianza del 95% utilizando la prueba de Tukey en forma descendente para controlar las medidas, estos se analizaron utilizando Software InfoStat[®] versión libre 2016l.

6.3 ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO

El ensayo se estableció en un área de terreno de la Universidad Rafael Landívar, del Campus Regional “San Pedro Claver, S.J.” de la Verapaz; localizado en el municipio de San Juan Chamelco, departamento de Alta Verapaz. El experimento se plantó durante el mes de octubre del año 2013, a un distanciamiento de 2 X 3 metros con un total de 750 plantas (270 plantas netas) que conforman el ensayo.

6.4 MATERIAL EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados son cinco clones de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake, desarrollados utilizando el método de producción en tubete con cavidades de 110 cc. Los materiales utilizados se identifican mediante la siguiente nomenclatura: 980, 1214, 1084, 966 y 1066.

6.5 FACTOR ESTUDIADO

Clones de *Eucalyptus urophylla*, distribuidos en cinco tratamientos o modalidades (ver cuadro 3).

Para evaluar el factor estudiado se utilizaron las variables de respuesta:

- Diámetro a la altura del pecho DAP (cm)
- Altura total (m)
- Volumen por hectárea (m³/ha)
- Porcentaje de sobrevivencia (%)
- Forma expresado en porcentajes (%)

6.6 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Cada tratamiento fue representado por un material clonal de los cinco que conforman el estudio, por lo tanto cada tratamiento estuvo formado por 150 plantas distribuidas en unidades experimentales de 25 plantas cada uno.

Cuadro 3. Identificación y número de plantas por tratamiento.

Tratamiento	Clon	Plantas
T1	1084	150
T2	980	150
T3	1066	150
T4	966	150
T5	1214	150

6.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Tomando en consideración la gradiente de inclinación en un sector del terreno donde se estableció la plantación a evaluar (<15%), se tomó la decisión de utilizar el diseño de bloques completos al azar. Este experimento cumple con los tres principios de la experimentación: repetición, aleatorización y control local.

6.8 MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico utilizado para el análisis de datos fue:

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

En donde:

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

μ = media general de la variable de respuesta:
(dap, altura total, volumen total)

τ_i = efecto del i-ésimo material clonal

β_j = efecto del j-ésimo bloque

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

6.9 UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental estuvo representada por una parcela rectangular con una superficie de 150 metros cuadrados (10 metros de ancho por 15 metros de largo).

Además, cada unidad experimental fue conformada por 25 plantas totales, de las cuales 16 se encuentran localizadas en el borde; por lo tanto, la parcela contó con 9 plantas netas.

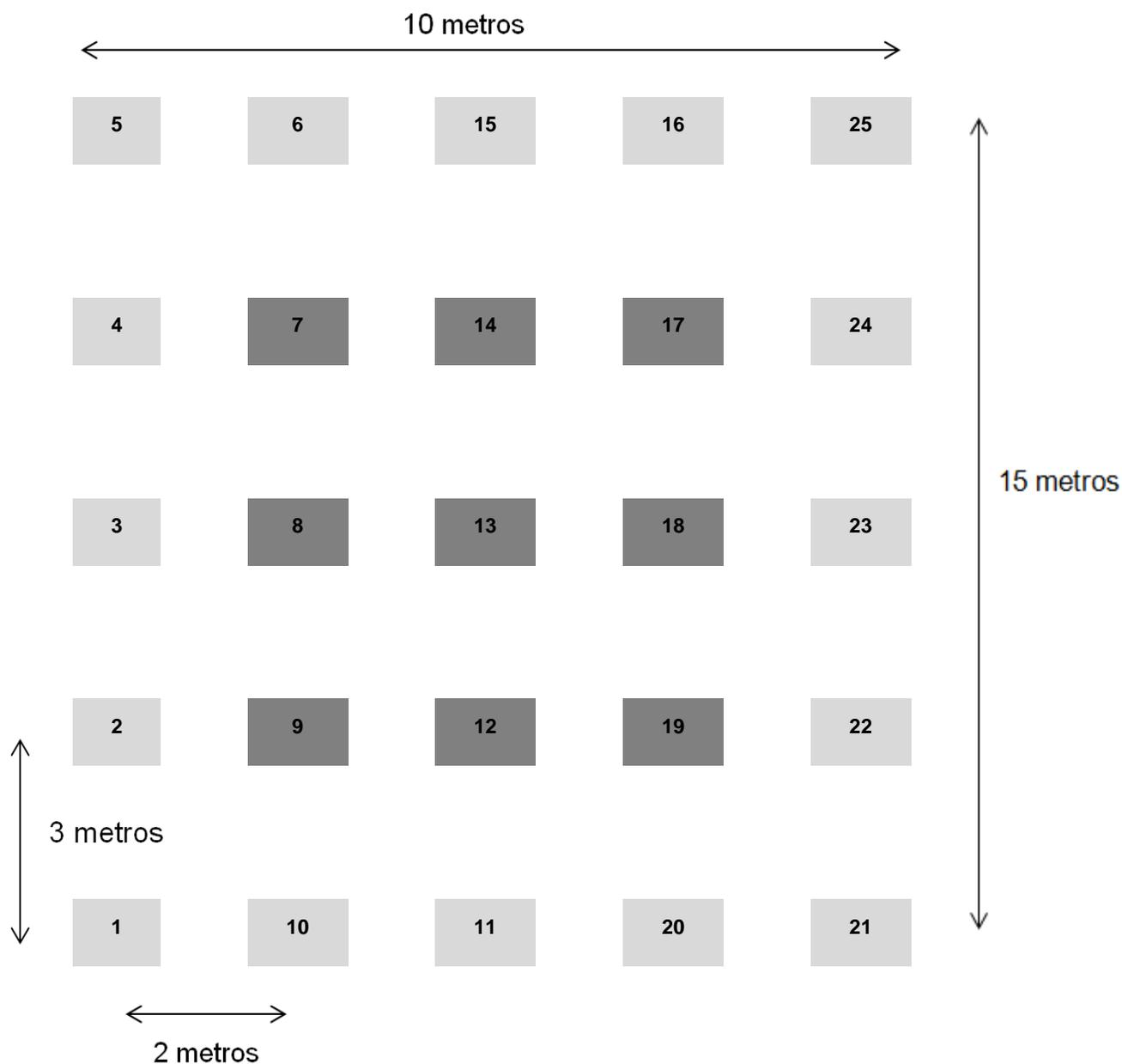
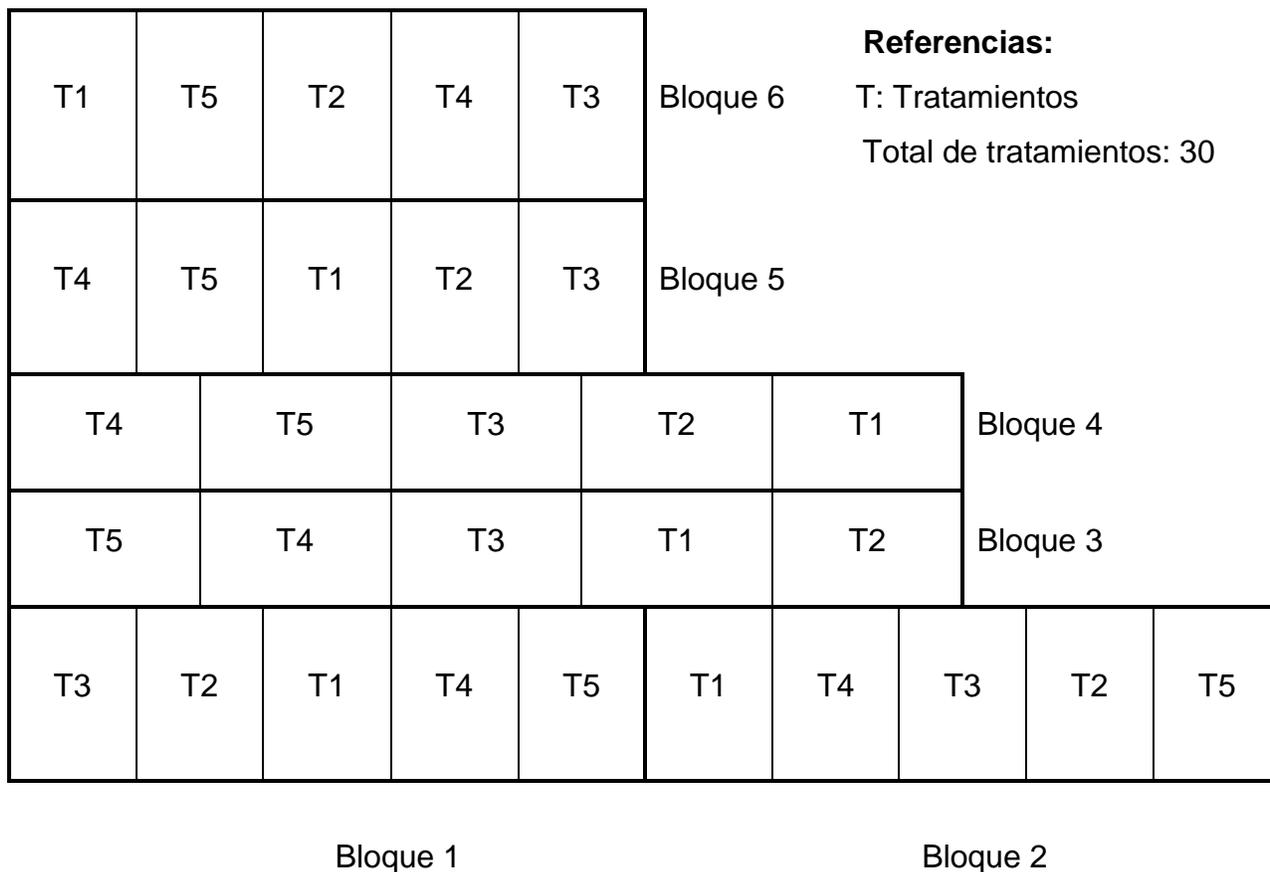


Figura 4. Representación de las unidades experimentales (gris claro: plantas de borde, gris oscuro: plantas netas).

6.10 CROQUIS DE CAMPO

La figura 5 presenta la estructura de las unidades experimentales y la distribución de los 5 tratamientos, cada tratamiento se asignó de forma aleatoria en los 6 bloques.



Fuente: (García, 2016).

Figura 5. Croquis de campo: aleatorización de las 30 unidades experimentales (total de tratamientos) que conforman el ensayo.

6.11 REPETICIONES

Se establecieron 6 repeticiones o bloques, con 5 tratamientos cada uno.

6.12 MANEJO DEL EXPERIMENTO

El manejo de la plantación durante el periodo que dura el estudio (un año), estuvo dirigido principalmente al control de malezas, prevención y control de plagas y enfermedades.

Durante la plantación en el año 2013, se aplicó un fertilizante químico en cada postura al fondo del agujero, formando una mezcla del fertilizante con el suelo para evitar que las raíces tuvieran contacto directo con el fertilizante. La fórmula utilizada fue 12-24-12 (N-P-K) aplicando una dosis de 100 gramos por postura (García, 2016).

6.12.1 Control de malezas

El control de malezas se realizó de forma manual. Se realizaron dos limpiezas mediante chapas durante el periodo de evaluación: abril y septiembre, además estas limpiezas sirvieron como caminos para la toma de datos en campo. El objetivo de estas fue favorecer la supervivencia de las plantas y aumentar la productividad, disminuyendo la competencia por luz, agua y nutrientes.

6.12.2 Control de plagas y enfermedades

Dentro del área de estudio y en áreas aledañas existió presencia de zompopos (*Atta cephalotes*), por lo que fue necesario mantener un control periódico utilizando productos químicos (insecticidas). Estas aplicaciones fueron dos veces durante la evaluación: marzo y junio. No se registraron daños por enfermedades.

6.12.3 Identificación del ensayo

Se colocó un rotulo visible que identificó la plantación, conteniendo la información básica del experimento: fecha de establecimiento, área, distanciamiento, unidades experimentales, tratamientos y clones.

6.13 VARIABLES DE RESPUESTA

Las mediciones realizadas fueron para determinar el crecimiento de los cinco materiales genéticos, incluyendo sobrevivencia y desarrollo fenotípico. Para el desarrollo de los materiales se evaluó el volumen total por hectárea. Estas mediciones se realizaron tres veces durante el periodo de evaluación: octubre 2015 (dos años), abril 2016 (dos años y seis meses) y octubre de 2016 (tres años de establecimiento).

6.13.1 Diámetro a la altura del pecho

La medición del diámetro del fuste a la altura del pecho (en centímetros diametrales) se realizó en tres ocasiones, siendo estas, a los dos años, dos años y medio y tres años; con ello se pretendió conocer cómo se comporta cada uno de los tratamientos.

La medición de los diámetros se realizó utilizando cinta métrica obteniendo la circunferencia de cada fuste, además se utilizó una regla calibrada de 1.30 metros del suelo para facilitar la toma de datos (García, 2016).

6.13.2 Altura total

Se realizó con la medición de la altura total (en metros) de cada uno de los árboles. Esta variable se evaluó en tres ocasiones durante el desarrollo de la investigación: dos años, dos años y seis meses y tres años de desarrollo (García, 2016). Estas mediciones permitieron conocer el comportamiento de los tratamientos.

Para la medición de las alturas se utilizó un hipsómetro, para facilitar las lecturas y minimizar los errores en las mediciones.

6.13.3 Volumen

Habiendo obtenido los datos de altura total y diámetro, mediante el uso de ecuaciones para la estimación del volumen de plantaciones, se estimó el volumen individual de los árboles, utilizando la ecuación: $V = AB \times H \times F$.

En donde:

- V = Volumen en metros cúbicos
- AB = Área basal a 1.30 metros de la base del árbol
- H = Altura total
- F = Factor de forma (0.45)

6.13.4 Volumen total

El volumen total se obtuvo de la sumatoria del volumen de cada uno de los árboles para cada tratamiento y bloque del experimento.

6.13.5 Sobrevivencia

Se realizó un conteo de plantas netas vivas para estimar la sobrevivencia con relación al total de plantas establecidas, esta actividad se realizó en diferentes etapas del estudio: dos años, dos años y seis meses y, la definitiva se llevó a cabo al cumplir los tres años de establecida la plantación (ver anexo, boleta de campo 2).

6.13.6 Forma

El desarrollo fenotípico se realizó mediante la evaluación de códigos de forma expresados en porcentajes (ver figura 6). Esta actividad se llevó a cabo en tres etapas del estudio: dos años, dos años y medio y tres años de desarrollo.

Se utilizaron cuatro formas de fuste: sinuoso, inclinado, bifurcado y recto.

Referencia:

a) Sinuoso

b) Inclinado

c) Bifurcado

d) Recto

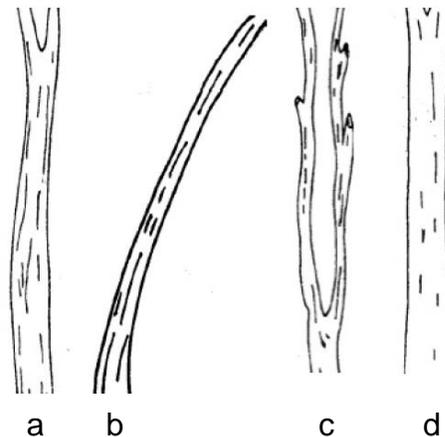


Figura 6. Códigos de forma del fuste. Fuente: (Daetz, 2015).

6.14 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de efectuadas las mediciones para las variables se generó una base de datos, ingresando los valores al programa Excel 2013 de Microsoft Office[®], esto con el fin de garantizar la confiabilidad de los datos resultantes.

Para la obtención de las variables de respuesta ningún tratamiento o factor a evaluar requirió de costos que difieran en sus resultados; por ende no se realizó un análisis económico.

6.14.1 Análisis estadístico

El objetivo fue evaluar la adaptabilidad de los materiales genéticos mediante análisis comparativo entre sí; se procedió a evaluar las medias aritméticas de altura total, DAP y volumen por hectárea de cada tratamiento. Por ende se realizó el análisis de varianza de bloques completos al azar con un nivel de confianza del 95% utilizando la prueba de Tukey en forma descendente para confrontar las medias. El análisis estadístico se realizó con el Software InfoStat[®] versión libre 2016l para la aplicación de la regla de decisión se utiliza: Si el valor de $F \geq F$ crítica (gl tratamiento; gl error; α) se rechaza la hipótesis nula (H_0).

El análisis de sobrevivencia y desarrollo fenotípico se realizó con un conteo de materiales vivos durante el mes de octubre del año 2015 y dos mediciones semestrales durante el año 2016 expresado en porcentajes mediante análisis estadístico.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES DASOMÉTRICAS EN LOS MATERIALES GENÉTICOS DE *Eucalyptus urophylla*

El desarrollo de cada material clonal se evaluó realizando mediciones de altura y diámetro del fuste de la totalidad de plantas netas que conforman el experimento para la proyección del volumen en m³/ha. Además, se realizó un conteo para el análisis de sobrevivencia y forma.

7.2 ANÁLISIS DEL DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP)

Para obtener una comparación real del DAP se realizaron tres mediciones: finalización del segundo año, 2 años 6 meses y 3er. año de establecimiento.

7.2.1 Diámetro a la altura del pecho DAP 2do. año de desarrollo

Para determinar la significancia que existe entre los tratamientos para la variable DAP al segundo año, se realizó un análisis de varianza SC Tipo I.

Cuadro 4. Análisis de varianza (SC Tipo I) para el DAP a los 2 años

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	14.22	3.55	4.02	0.015
Bloque	5	16.75	3.35	3.79	0.0142
Error	20	17.70	0.88		
Total	29	48.67			

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 4, luego de aplicar el ANDEVA con un nivel significancia del 5% se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p 0.015$, donde F crítica tiene un valor de 2.87) en los materiales para la variable DAP al segundo año de desarrollo, lo que indica que los materiales evaluados no se comportaron de igual forma. El coeficiente de variación calculado por el error experimental fue de 13.72%.

Cuadro 5. Prueba de Tukey para la variable DAP al segundo año

Tratamiento	Medias DAP (cm)	n		
966 (T4)	8.10	6	A	
980 (T2)	7.03	6	A	B
1084 (T1)	6.53	6	A	B
1214 (T5)	6.50	6	A	B
1066 (T3)	6.11	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Según el cuadro 5, el clon 966 (T4) conforma el grupo A y posee los mejores valores de DAP con medias superiores a 8.00 centímetros, mientras los clones 980 (T2), 1084 (T1) y 1214 (T5) conforman el grupo AB con medias entre 7.03 y 6.50 centímetros. Con la media más baja se encuentra el clon 1066 (T3) proyectando 6.11 centímetros de DAP en el grupo B.

Estos resultados al ser comparados con (De la Vega, 2016), presenta a los clones 1214 (T5) y 1066 (T3) con medias inferiores en desarrollo de DAP y al clon 1084 (T1) con media superior en diámetro a la altura del pecho de 0.81 cm. Al comparar los factores climáticos, San Juan Chamelco presenta mayor altitud, menor temperatura y un déficit sobre el balance hídrico de 1819 mm con relación a La Tinta, A.V. (ver anexo, cuadro 25).

7.2.2 Diámetro a la altura del pecho DAP 2 años y 6 meses

Para comprobar la significancia que existe entre los tratamientos para la variable DAP a los dos años y medio se realizó un análisis de varianza.

Cuadro 6. Análisis de varianza (SC Tipo I) para el DAP a los 2 años y 6 meses

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	21.37	5.34	4.88	0.0066
Bloque	5	18.96	3.79	3.46	0.0205
Error	20	21.90	1.1		
Total	29	62.23			

Con base al cuadro 6, luego de aplicar el ANDEVA con un nivel significancia del 5% se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p 0.0066$, donde F crítica tiene un valor de 2.87) en los materiales para la variable DAP, lo que indica que los materiales evaluados no se desarrollaron de igual forma. El coeficiente de variación calculado por el error experimental fue de 13.03%.

Cuadro 7. Prueba de Tukey para la variable DAP a los 2 años y 6 meses.

Tratamiento	Medias DAP (cm)	n		
966 (T4)	9.52	6	A	
980 (T2)	8.42	6	A	B
1066 (T3)	7.53	6		B
1084 (T1)	7.40	6		B
1214 (T5)	7.29	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo con la prueba de Tukey descrita en el cuadro 7, el clon 966 (T4) es el que presentó los DAP más altos a los 2 años y 6 meses con 9.52 cm, conformando el grupo A, el clon 980 conforma el grupo AB con un promedio de 8.42 centímetros, mientras que los clones 1066, 1084 y 1214 se encuentran en el grupo B con medias de 7.53 y 7.29 centímetros.

El clon 966 mostró un aumento de 1.42 centímetros en DAP durante el primer semestre de evaluación. Estos resultados siguen mostrando al clon 966 como mejor material genético para establecer y al clon 1214 como el material que menos se adapta a la región con un incremento de 0.79 centímetros en DAP durante los dos años y medio de establecimiento.

7.2.3 Diámetro a la altura del pecho DAP 3er. año

Para verificar la significancia que existe entre los cinco tratamientos en la variable DAP al tercer año de establecimiento, se realizó un análisis de varianza SC Tipo I.

Cuadro 8. Análisis de varianza (SC Tipo I) para el DAP a los 3 años

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	31.46	7.86	5.85	0.0028
Bloque	5	19.01	3.8	2.83	0.0434
Error	20	26.90	1.35		
Total	29	77.37			

Con base al cuadro 8, luego de aplicar el análisis de varianza con un nivel significancia del 5% se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p$ 0.0028, donde F crítica tiene un valor de 2.87), con un coeficiente de variación (CV) de 12.47%.

Cuadro 9. Prueba de Tukey para la variable DAP a los 3 años.

Tratamiento	Medias DAP (cm)	n		
966 (T4)	11.06	6	A	
980 (T2)	9.77	6	A	B
1066 (T3)	8.92	6		B
1084 (T1)	8.58	6		B
1214 (T5)	8.18	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Al finalizar el tercer año de desarrollo y de acuerdo con los resultados expresados en el cuadro 9, el clon 966 (T4) presentó los mejores resultados de DAP con un promedio de 11.06 centímetros en el grupo A, el clon 980 (T2) presenta promedios de 9.77 centímetros en el grupo AB y los clones 1066 (T3), 1084 (T1) y 1214 (T5) presentaron medias de 8.92 y 8.18 centímetros en el grupo B.

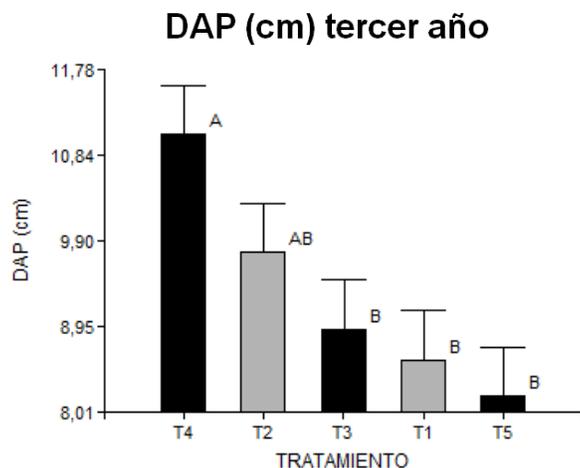


Figura 7. Diámetros al tercer año de establecimiento por tratamientos.

De acuerdo a la figura 7, el clon 966 (T4) presentó un aumento de 1.54 centímetros de DAP durante el segundo semestre de evaluación. En total, el clon 966 mostró un aumento anual de 2.96 centímetros de DAP durante el tercer año de desarrollo (ver anexo, cuadro 29).

7.3 ANÁLISIS DE LA ALTURA TOTAL

Este análisis permite conocer las características de desarrollo en tiempos definidos, mediante la comparación de promedios de altura en los tratamientos.

7.3.1 Altura total a los 2 años

Para determinar la significancia que existe entre los tratamientos para la variable altura se realizó el análisis de varianza SC Tipo I.

Cuadro 10. Análisis de varianza (SC Tipo I) de altura total a los 2 años

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	20.25	5.06	6.57	0.0015
Bloque	5	12.16	3.16	3.16	0.0291
Error	20	15.40	0.77		
Total	29	47.81			

De acuerdo a los resultados en el cuadro 10, luego de aplicar el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p 0.0015$, donde F crítica tiene un valor de 2.87) en los materiales para la variable altura total a los dos años de desarrollo. El coeficiente de variación fue 11.80%.

Cuadro 11. Prueba de Tukey para la variable altura a los 2 años

Tratamiento	Medias: alturas (m)	n		
966 (T4)	8.37	6	A	
1214 (T5)	8.07	6	A	
980 (T2)	7.74	6	A	
1066 (T3)	6.86	6	A	B
1084 (T1)	6.14	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo con la prueba de Tukey del cuadro 11, el clon 966 (T4) presentó los mejores resultados de altura con un promedio de 8.37 m en el grupo A, además los clones 1214 (T5) y 980 (T2) también comparten el grupo A con promedios de 8.07 m y 7.74 m. El clon 1066 (T3) abarca el grupo AB con una altura promedio de 6.86 m y el clon 1084 (T1) presenta la media más baja de desarrollo con 6.14 m en el grupo B.

Estas alturas al ser comparadas con (De la Vega, 2016), muestra a los clones con medias inferiores en desarrollo: clon 1084 (T1) menos 1.77 m, clon 1214 (T5) menos 0.7 m y clon 1066 (T3) menos 2.23 m, con relación a los materiales presentes en el municipio de Santa Catalina la Tinta, A.V. Entre los factores climáticos que afectaron la variable altura se encuentran altitud y temperatura, debido a que San Juan Chamelco presenta mayor altitud con 1,040 msnm y una temperatura menor de 6°C (ver anexo, cuadro 25).

7.3.2 Altura total a los 2 años y 6 meses

La significancia que existe entre los tratamientos para la variable altura a los dos años y medio se realizó a través de un análisis de varianza.

Cuadro 12. Análisis de varianza (SC Tipo I) de altura total a los 2 años y 6 meses

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	43.32	10.83	8.88	0.003
Bloque	5	25.43	5.09	4.17	0.0093
Error	20	24.40	1.22		
Total	29	93.15			

Después de aplicar el análisis de varianza expresado en el cuadro 12, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p 0.003$, donde F crítica tiene un valor de 2.87), presentando un coeficiente de variación de 12.31%.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para la variable altura a los 2 años y 6 meses

Tratamiento	Medias: alturas (m)	n		
980 (T2)	10.30	6	A	
966 (T4)	10.13	6	A	
1214 (T5)	8.94	6	A	
1066 (T3)	8.46	6	A	B
1084 (1)	7.01	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Con base a la prueba de Tukey del cuadro 13, el clon 980 desarrolló mayor altura, con un promedio de 10.3 metros, mientras los clones 966 y 1214 promediaron 10.13 y 8.94 metros. El clon 1066 pertenece al grupo AB con un promedio de 8.46 metros, mientras que el clon 1084 se quedó en el grupo B con 7.01 metros. El clon 980 presentó un aumento de 2.56 metros de altura, mientras el clon 966 un aumento de 1.76 metros de altura durante el primer semestre de evaluación: el clon 980 se proyectó del tercer puesto al primer lugar como mejor material, desplazando al clon 966 como segunda opción.

7.3.3 Altura total a los 3 años

Para determinar la significancia que existe entre los tratamientos para la variable altura a los tres años de desarrollo, se realizó el análisis de varianza SC Tipo I.

Cuadro 14. Análisis de varianza (SC Tipo I) de altura total a los 3 años

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	75.16	18.79	6.1	0.0022
Bloque	5	35.41	7.08	2.3	0.0834
Error	20	61.56	3.08		
Total	29	172.1			

Conforme al cuadro 14, luego de aplicar el ANDEVA con un nivel de significancia del 5% se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p$ 0.0022, donde F crítica tiene un valor de 2.87) en los materiales para la variable altura total a los 3 años de desarrollo. El coeficiente de variación (CV) fue 15.42%.

Cuadro 15. Prueba de Tukey para la variable altura a los 3 años

Tratamiento	Medias: alturas (m)	n		
966 (T4)	13.30	6	A	
980 (T2)	12.98	6	A	
1214 (T5)	10.99	6	A	B
1066 (T3)	10.57	6	A	B
1084 (T1)	9.04	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo al cuadro 15, al finalizar el tercer año y de acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 15, el clon 966 (T4) presentó el mejor promedio de altura con 13.3 metros, el clon 980 (T2) un promedio de 12.98 metros, ambos en el grupo A. Los clones 1214 (T5) y 1066 (T3) expresaron promedios de 10.99 y 10.57 en el grupo AB, mientras el clon 1084 (T1) un promedio de 9.04 metros en el grupo B.

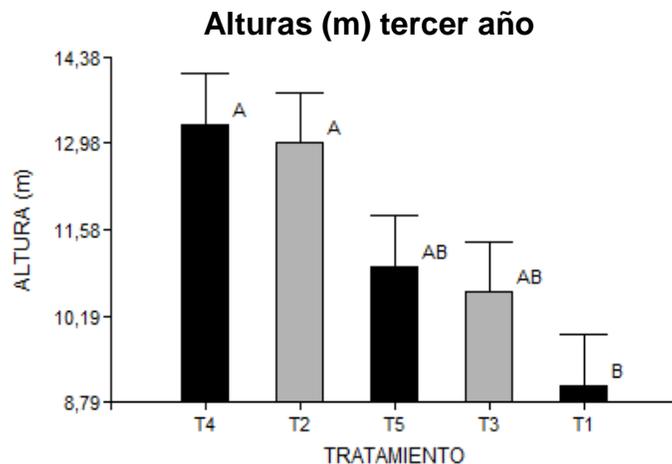


Figura 8. Alturas al tercer año de establecimiento por tratamientos.

El clon 966 (T4) mostró un aumento de 3.17 metros durante el segundo semestre de evaluación. En total el clon 966 tuvo un aumento anual de 4.93 metros de altura durante el tercer año de desarrollo (ver anexo, cuadro 29).

7.4 PRODUCTIVIDAD

El concepto de productividad potencial forestal, representa la máxima obtención de madera expresada en m^3 de una plantación forestal con las restricciones que impone el suelo y clima del sitio.

La productividad se estimó mediante la cuantificación del volumen por hectárea que produjo cada material clonal durante el periodo de evaluación.

7.4.1 Análisis de volumen por hectárea

Se realizaron proyecciones de volumetría por hectárea (m³/ha) para efectos de evaluación y presentación de resultados mediante el análisis de varianza SC Tipo I y prueba de medias de Tukey por tratamientos.

7.4.2 Volumen al 2do. año de desarrollo

Para determinar la significancia que existe entre los tratamientos para la variable volumen al segundo año, se realizó un análisis de varianza SC Tipo I.

Cuadro 16. Análisis de varianza (SC Tipo I) volumen a los 2 años

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	49257.31	12314.3	5.65	0.0033
Bloque	5	60110.93	12022.2	5.52	0.0024
Error	20	43563.16	2178.16		
Total	29	152931.4			

Según el cuadro 16, luego de aplicar el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% y de acuerdo a la regla de decisión de resultados, se define que si existe diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p$ 0.0033, donde F crítica tiene un valor de 2.87) en la variable volumen para los materiales clones evaluados. El coeficiente de variación calculado por el error experimental fue de 34.46%. El crecimiento de volumen por hectárea se analizó a través de la prueba de medias de Tukey.

Cuadro 17. Prueba de Tukey para la variable volumen al segundo año

Tratamiento	Medias VOL (m ³ /ha)	n		
966 (T4)	206.03	6	A	
1214 (T5)	145.56	6	A	B
980 (T2)	133.59	6	A	B
1066 (T3)	98.54	6		B
1084 (T1)	93.50	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo a los resultados expresados en el cuadro 17, el clon 966 conforma el grupo A y posee los mejores valores de volumen con medias superiores a 205.00 m³/ha a los 2 años de establecimiento, mientras los clones 1214 y 980 conforman el grupo AB con medias de 145.56 y 133.59 m³/ha. Los clones 1066 y 1084 presentan bajos promedios con 98.54 y 93.50 m³/ha en el grupo B.

Estos resultados al ser comparados con (De la Vega, 2016), presentan al clon 1214 con mayor volumetría (6.83 m³/ha), al clon 1214 mayor volumetría (43.34 m³/ha) y al clon 1066 con menor volumetría (5.9 m³/ha). Estos materiales comparativos se encuentran ubicados en el municipio de Santa Catalina la Tinta, A.V. Los factores climáticos que pudieron afectar la variable volumen son: altitud, temperatura y precipitación pluvial, debido a que San Juan Chamelco presenta mayor altitud: 1,040 msnm y menor precipitación pluvial con 1,819 mm con relación a La Tinta, A.V. (ver anexo, cuadro 25).

7.4.3 Volumen a 2 años y 6 meses de desarrollo

La significancia que existió entre los tratamientos y la variable volumen, se evaluó mediante un análisis de varianza.

Cuadro 18. Análisis de varianza (SC Tipo I) volumen a los 2 años y 6 meses

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	146148	36537.1	7.73	0.0006
Bloque	5	155631	31126.17	6.59	0.0009
Error	20	94496.9	4724.85		
Total	29	396276			

Luego de aplicar el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% y de acuerdo a la regla de decisión de resultados expresados en el cuadro 18, se define que si existe diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p$ 0.0006, donde F crítica tiene un valor de 2.87) de la variable volumen entre los materiales clonales evaluados. El coeficiente de variación calculado para el error experimental fue de 30.62%.

Cuadro 19. Prueba de Tukey para la variable volumen a los 2 años y 6 meses

Tratamiento	Medias VOL (m ³ /ha)	n		
966 (T4)	344.11	6	A	
980 (T2)	253.88	6	A	B
1214 (T5)	197.32	6		B
1066 (T3)	186.44	6		B
1084 (T1)	140.84	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo al cuadro 19, el clon 966 siguió mostrando los mejores valores de volumen con 344.11 m³/ha promedio en el grupo A. El clon 980 pertenece al grupo AB con un volumen de 253.88 m³/ha. Mientras que los clones 1214, 1066 y 1084 pertenecen al grupo B con medias de 197.32 m³/ha, 186.44 m³/ha y 140 m³/ha. El clon 966 presentó un aumento de 138.08 m³/ha en el primer semestre de evaluación.

7.4.4 Volumen al 3er. año de desarrollo

Se realizó el análisis de varianza SC Tipo I para determinar la significancia que existe entre los tratamientos al finalizar los tres años de establecimiento.

Cuadro 20. Análisis de varianza (SC Tipo I) volumen a los 3 años

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	475908.79	118977.2	6.9	0.0012
Bloque	5	249243.59	49848.72	2.9	0.0403
Error	20	345210.71	17260.54		
Total	29	1070363.1			

Luego de aplicar el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% y de acuerdo a la regla de decisión, se define que si existe diferencias estadísticamente significativas según lo indica el cuadro 20, donde ($F \geq p 0.0012$, donde F crítica tiene un valor de 2.87) de la variable volumen para los materiales clonales evaluados (ver cuadro 20). El coeficiente de variación (CV) calculado para el error experimental fue de 32.85%.

Cuadro 21. Prueba de Tukey para la variable volumen al tercer año

Tratamiento	Medias VOL (m ³ /ha)	n		
966 (T4)	603.92	6	A	
980 (T2)	486.58	6	A	B
1066 (T3)	335.56	6		B
1214 (T5)	302.05	6		B
1084 (T1)	271.57	6		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Al finalizar los tres años de establecimiento y de acuerdo al cuadro 21, el clon 966 (T4) presenta la mejor productividad forestal con medias en volumen de 603.92 m³/ha en el grupo A. El clon 980 (T2) pertenece al grupo AB con una media de 486.58 m³/ha. Los clones 1066 (T3), 1214 (T5) y 1084 (T1) pertenecen al grupo B con medias de 335.56 m³/ha, 302.05 m³/ha y 271.57 m³/ha.

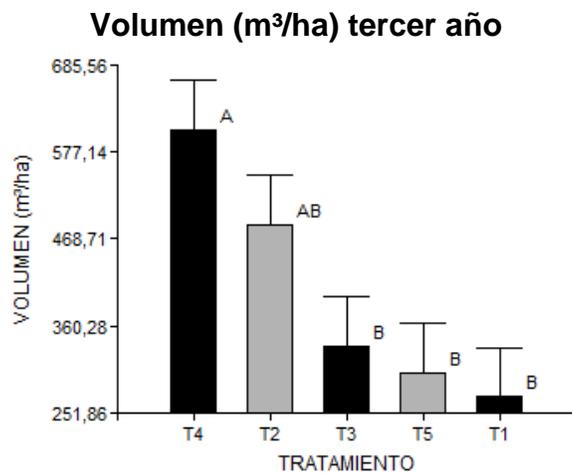


Figura 9. Volumen al tercer año de establecimiento por tratamientos.

El clon 966 (T4) presentó un aumento de 259.81 m³/ha durante el segundo semestre de evaluación. En total el clon 966 tuvo un aumento anual de 397.89 m³/ha del segundo al tercer año de desarrollo (ver anexo, cuadro 29).

7.5 ANÁLISIS DE SOBREVIVENCIA

El desarrollo de sobrevivencia se evaluó realizando tres conteos sobre plantas netas que conforman el experimento: 2 años; 2 años y 6 meses y 3er. año de establecimiento. Durante el año de evaluación no se reportaron plantas muertas, manteniéndose la misma cantidad de individuos.

Para determinar la significancia que existe entre los tratamientos para la variable sobrevivencia, se realizó un análisis de varianza SC Tipo I al finalizar el 3er. año de desarrollo.

Cuadro 22. Análisis de varianza (SC Tipo I) para sobrevivencia al 3er. año

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	4.47	1.12	1.14	0.3649
Bloque	5	11.47	2.29	2.35	0.0786
Error	20	19.53	0.98		
Total	29	35.47			

De acuerdo a los datos expresados en el cuadro 22, los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% para la sobrevivencia de los cinco materiales clonales, con un coeficiente de variación (CV) del 11.58%, revelan que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los materiales ($F \geq p$ 0.3649, donde F crítica tiene un valor de 2.87).

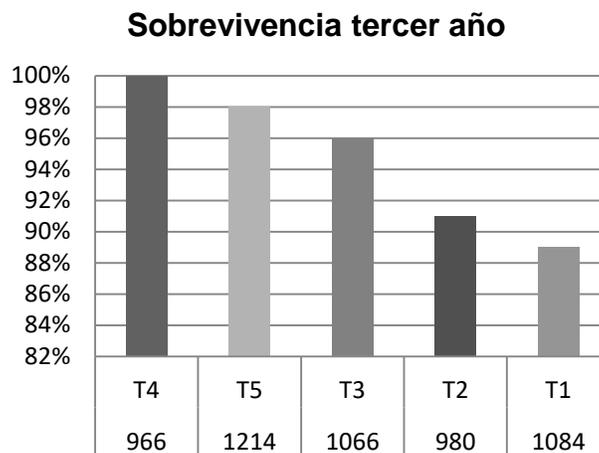


Figura 10. Sobrevivencia al tercer año de establecimiento.

De acuerdo a la figura 10, el clon 966 (T4) presentó un 100% de sobrevivencia de plantas netas al finalizar los tres años de desarrollo. Mientras que el clon 1084 (T1) presentó mayores índices de mortalidad con un 11%. Los materiales 1214 (T5) y 1066 (T3) presentan un promedio de 97% de sobrevivencia; mientras que los materiales 980 (T2) y 1084 (T1) un promedio de sobrevivencia del 90%. El porcentaje promedio de sobrevivencia de plantas netas en los cinco tratamientos fue 94.81%.

Estos resultados al ser comparados con (De la Vega, 2016), muestra al 1084 (T1) con mayor porcentaje de supervivencia (7%); el clon 1214 (T5) mayor porcentaje (24%) y el clon 1066 (T3) mayor porcentaje (9.33%). Estos materiales comparativos se encuentran ubicados en el municipio de Santa Catalina la Tinta, A.V.

7.6 ANÁLISIS FENOTÍPICO

El análisis de forma se realizó mediante tres evaluaciones sobre plantas netas: 2 años, 2 años y 6 meses y 3er. año de desarrollo. Durante el año de evaluación no se reportaron plantas con cambios de forma, manteniéndose la variable de respuesta.

Para determinar la significancia que existe entre los tratamientos para la variable forma, se realizó un análisis de varianza SC Tipo I al finalizar el 3er. año de desarrollo.

Cuadro 23. Análisis de varianza (SC Tipo I) desarrollo fenotípico 3er. año

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	1.2	0.3	5	0.0059
Bloque	5	0.3	0.06	1	0.443
Error	20	1.2	0.06		
Total	29	2.7			

Con base al cuadro 23, luego de aplicar el ANDEVA con un nivel significancia del 5%, con un coeficiente de variación (CV) del 2.75%, se encontró diferencias estadísticamente significativas ($F \geq p$ 0.0059, donde F crítica tiene un valor de 2.87) en los tratamientos para la variable forma a los tres años de establecimiento. El análisis de varianza se realizó tomando en consideración el porcentaje de plantas rectas del experimento y para determinar el mejor material clonal, se utilizó la prueba de medias de Tukey.

Cuadro 24. Prueba de Tukey para la variable sobrevivencia al tercer año

Tratamientos	Forma recta %	n	
966 (T4)	100	6	A
1214 (T5)	100	6	A
980 (T2)	100	6	A
1084 (T1)	100	6	A
1066 (T3)	94	6	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

De acuerdo al cuadro 24, los clones 966 (T4), 1214 (T5), 980 (T2), 1084 (T1) conforman el grupo A, con un 100% de formas rectas. Solamente el clon 1066 (T3) se encuentra en el grupo B, con un 94% de forma recta en el fuste.

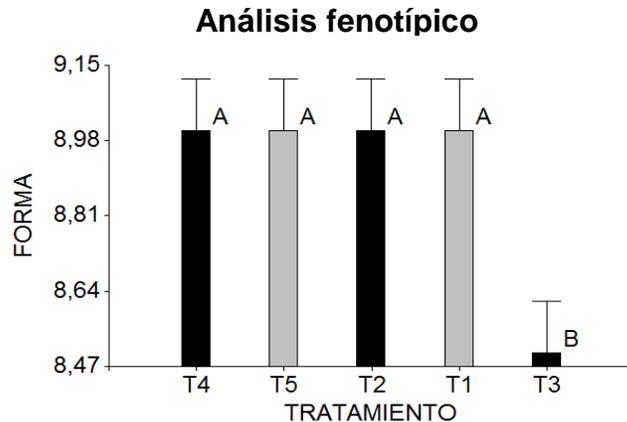


Figura 11. Análisis fenotípico al tercer año de establecimiento.

Con base a la figura 11, el clon 1066 (T3) fue el único material clonal que presentó formas bifurcadas al tercer año de desarrollo con un 6%.

Estos resultados al ser comparados con (De la Vega, 2016), muestra al 1084 (T1) con mayor porcentaje de forma recta (46.67%); al clon 1066 (T3) con mayor porcentaje en forma recta (36.22%) y menor porcentaje en forma bifurcada (1.85%), además el clon 1214 (T5) presenta porcentaje mayor en fustes rectos (53.33%). Estos materiales comparativos se encuentran ubicados en el municipio de Santa Catalina la Tinta, A.V, donde los factores climáticos que afectaron el desarrollo fenotípico fueron la altitud y déficit del balance hídrico, debido a que San Juan Chamelco presenta mayor altitud con 1040 msnm y una precipitación pluvial menor con 1819 mm (ver anexo, cuadro 25).

7.7 ANÁLISIS INTEGRADOR DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA

El desarrollo de cada material clonal se evaluó a través del análisis comparativo entre tratamientos, realizando mediciones de altura y diámetro del fuste de la totalidad de plantas netas que conforman el experimento para la proyección de volumen por hectárea, mostrando al clon 966 (T4) con los mejores resultados al finalizar los tres años de desarrollo: DAP 11.06 cm, altura total 13.30 metros y volumen de 603.92 m³/ha. Además se realizó un conteo de plantas para el análisis de sobrevivencia y

forma, de igual forma el clon 966 presentó los mejores resultados: sobrevivencia en un 100% y forma recta con un 100% (ver anexo, cuadro 30).

Para determinar la significancia de las variables de respuesta entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza SC Tipo I con un nivel de confianza del 95%, y con base a la aplicación de la regla de decisión; una prueba de medias de Tukey para conocer a los mejores materiales clonales al tercer año de desarrollo mediante la relación de variables de respuesta. Solamente la variable sobrevivencia no mostró diferencias significativas al tercer año de desarrollo. Los clones con los peores resultados al finalizar el proceso de estudio fueron: 1214 (T5) con DAP de 8.18 cm, 1084 (T1) con altura promedio de 9.04 m y volumen de 271.53 m³/ha, mientras el clon 1066 (T3) en desarrollo fenotípico mostró 94% de forma recta.

8. CONCLUSIONES

Mediante los análisis de varianza se determinó que la adaptabilidad de los materiales clonales presentaron diferencias significativas en cuatro de sus variables evaluadas: DAP, altura total, volumen por hectárea y forma al finalizar el tercer año de desarrollo, mostrando al clon 966 (T4) como mejor tratamiento; incluyendo sobrevivencia, bajo condiciones del municipio de San Juan Chamelco.

El crecimiento en diámetro a la altura del pecho DAP a los tres años muestra al clon 966 (T4) con el mejor promedio de desarrollo con 11.06 centímetros, mientras el clon 1214 (T5) el promedio más bajo con 8.18 centímetros. El clon 966 (T4) presentó un incremento anual de 2.96 centímetros del segundo al tercer año de desarrollo.

La variable altura total al tercer año de desarrollo presenta diferencias estadísticamente significativas entre los materiales, siendo el clon 966 (T4) el promedio más alto con 13.30 metros, mientras el material 1084 (T1) promedió el valor más bajo durante toda la evaluación con 9.04 metros de altura. El clon 966 presenta un incremento anual de 4.93 metros de altura total promedio del segundo al tercer año de establecimiento.

La productividad cuantificada en volumen durante el tercer año de establecimiento presenta como mejor material y opción rentable al clon 966 (T4) con una media de 603.92 m³/ha de desarrollo e IMA de 201.30 m³/ha. Este material presentó un incremento anual en volumen de 397.89 m³/ha del segundo al tercer año de desarrollo.

Se determinó estadísticamente que para los cinco materiales clonales evaluados no se encontraron diferencias significativas en cuanto a sobrevivencia; sin embargo al cumplir tres años de establecida la plantación, destaca el clon 966 (T4) registrando un 100% de sobrevivencia.

Mediante la evaluación fenotípica de plantas netas, se determinó que los materiales clonales: 966, 1084, 980 y 1214 presentan fustes rectos en un 100%. Únicamente el clon 1066 (T3) presenta fustes con forma bifurcada en un 6% a los tres años de establecimiento.

9. RECOMENDACIONES

Utilizar el material clonal 966 (T4) como primera opción de plantación energética en San Juan Chamelco, debido a que presentó los mejores resultados de desarrollo en las cinco variables evaluadas: DAP, altura total, volumen por hectárea, sobrevivencia y forma; además se recomienda el material 980 (T2) por presentar buenos resultados en las variables DAP, altura total, volumen y forma durante el tercer año desarrollo (ver anexo, cuadro 30).

Continuar con la evaluación de los materiales clonales siguiendo la misma línea de trabajo del presente estudio hasta su quinto año de desarrollo para determinar el mejor material genético y pueda ser seleccionado como material potencial dendroenergético bajo condiciones similares al municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

Replicar este experimento utilizando otras densidades evaluadas durante el establecimiento, para mejorar el volumen de producción forestal.

Promover a nivel comunitario plantaciones energéticas respondiendo de forma contextualizada a la Ley PROBOSQUE en su artículo 10, modalidad “b” a incentivar, mediante la publicación de resultados de investigación.

Determinar el poder calorífico y biomasa de los mejores materiales clonales durante el aprovechamiento mediante pruebas de laboratorio para su utilización como fuentes dendroenergéticas de desarrollo.

Desarrollar una base de datos de investigación por regiones para seleccionar y recomendar los mejores materiales genéticos de eucalipto con características definidas de producción forestal, para minimizar el déficit sobre la cobertura forestal del país.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, F. (2007). Las primeras plantaciones con propiedades energéticas en Guatemala. Data EXPORT. 24 p.
- Badilla, Y. Murillo, O. (2005). Soluciones Tecnológicas: Establecimiento de Jardines Clonales. Kurú Revista Forestal 6: 1-4
- Carpineti, L. (2005). Importancia de la silvicultura clonal. IDIA XXI N°8, 147-150. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210578.pdf>
- Congreso de la República de Guatemala. (1996). Decreto No. 101-96. Ley Forestal y su Reglamento de Guatemala. Disposiciones Generales. Cap. 1. Guatemala, C.A.
- Congreso de la República de Guatemala. (2015). Decreto 02-2015. Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación Restauración, Manejo, Producción y Protección de los Bosques en Guatemala PROBOSQUE. Guatemala, C.A.
- Daetz, C. (2015). Plantaciones de eucalipto en Lanquín, Alta Verapaz. Tesis Ing. Forestal. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 37 p.
- DEFOSCAR (2016). Desarrollo Forestal Integral de los Bosques. Desarrollo Forestal San Carlos II, S.A. Venezuela. 27p.
- De la Cruz, J. (1981). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de Reconocimiento. Instituto Nacional Forestal. Guatemala. 42p.
- De la Vega, S. (2016). Evaluación de Crecimiento y Calidad de Materiales Genéticos de Clones de *Eucalyptus*; La Tinta, Alta Verapaz. Tesis Ing. Forestal. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 46 p.

De León, J. (2010). Estudio de Factibilidad para Producción de energía eléctrica, a Partir de Biomasa de Eucalipto. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Dendroenergía. (2012). Dendroenergía, Aplicaciones en el Mundo (en línea). Disponible en: <http://dendroenergia.blogspot.com/p/aplicaciones-en-el-mundo.html#.WHJ-DhBdh>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA. (2010). Servicio de Conservación de Recursos Naturales NRCS. Claves para la taxonomía de Suelos. Undécima Edición. Estados Unidos. 374 p.

Eguiluz, T. (1988). Glosario de términos de genética y mejoramiento genético forestal. Boletín Técnico No. 2. Centro de genética forestal A.C. México.

Energías Renovables. (2014). Información sobre energías renovables, energía solar, energía eólica, biomasa, biogas, energía geotérmica, energía de los océanos, pilas de combustible (hidrógeno), etc (en línea). Disponible en: <http://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/biomasa-ventajas-desventajas/>

ENERSILVA (2007). Promoción del uso de la biomasa forestal con fines energéticos en el suroeste de Europa (en línea). España. Consultado 14 febrero de 2017. Disponible en: <http://www.enersilva.org/biomasaenergetica.htm#inicio>

FAO (2016). Dendroenergía. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Por un Mundo sin Hambre. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/energy/es/>

García, G., de Souza, Jo., & Abad, J. (2004). Reporte de descripción técnico científica de *E. urophylla* S.T. Blake procedencia de Monterrey y Zacapa en Guatemala. Guatemala.

García, M. (2016). Desarrollo de Clones de *Eucalyptus Urophylla* S.T. Blake durante e Primer Año de Establecimiento, en el Campus San Pedro Claver S.J. de la Universidad Rafael Landívar, Alta Verapaz. Tesis Ing. Forestal. Alta Verapaz, Guatemala, URL. 73 p.

Grupo empresarial ENCE, S.A. (2010). El Valor de la Biomasa Forestal, España, (2009). Marco regulatrio para el desarrollo estable de la generación eléctrica con Biomasa en España, Efectuado por Boston Consulting Group (BCG). Octubre de 2009. Disponible en: http://www.ence.es/pdf/Biomasa_forestal.pdf

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.

IARNA-URL (2003). Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. Plantaciones forestales: Oportunidades para el desarrollo sostenible. Serie de documentos técnicos No. 6. 20p. Guatemala.

IARNA-URL (2007). Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambientales de la Universidad Rafael Landívar. Sistema de Contabilidad Ambiental y Económico (SCAE). Cuentas Ambientales o Verdes. Guatemala. Consultado 4 marzo 2017. Disponible en: <http://www.infoiarna.org.gt/cuentas-ambientales/>

IARNA-URL (2009). Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. Perfil ambiental de Guatemala 2008-2009: Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo. Guatemala.

IARNA-URL (2010). Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. Laboratorio SIG IARNA. Mapa Zonas de Vida de Guatemala, Sistema Holdridge. Escenario A2-2020. Guatemala.

IARNA-URL (2012). Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012: Vulnerabilidad Local y Creciente Construcción de Riesgo. Guatemala.

INAB, IARNA-URL , FAO/GFP. (2012). Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala/Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping. Guatemala. FAO/GFP/Facility. 70p.

INAB, CONAP, UVG y URL (Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Universidad del Valle de Guatemala y Universidad Rafael Landívar). (2012). Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2010 y dinámica de la cobertura forestal 2006-2010. Guatemala.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. (1999). Manual Técnico Forestal. Instituto Nacional de Bosques. Ed. Guatemala.110p.

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. (2014). Lineamientos Técnicos de Manejo Forestal. Ed. Guatemala. 47p.

Instituto Nacional de Estadística. (2011). Compendio Estadístico Ambiental de Guatemala 2011. Sección de Estadísticas Ambientales, Oficina Coordinadora Sectorial de Estadísticas de Ambiente y Recursos Naturales. OCSE/Ambiente. Guatemala. 357 p.

Instituto Nacional de Estadística. (2015). Estimaciones de la población total por Municipio. Periodo 2008-2020. Guatemala. Disponible en: <http://www.oj.gob.gt/estadisticaj/files/poblacion-total-por-municipio1.pdf>

Larrañaga, M.M. & Flores, N. (2012). Oferta y Demanda de Leña de la República de Guatemala, INAB-URL/IARNA-FAO. Informe Final. Guatemala.

- MAGA (2002). Mapa de Zonas de Vida de Holdridge República de Guatemala. Guatemala. Disponible en: http://www.chmguatemala.gob.gt/images/zonas-de-vida_holdridge.pdf
- Martínez A., Lobato J. y Villaseñor J. (2004). Termotecnia básica aplicada Pablo Riquelme para ingenieros químicos: bases de Termodinámica aplicada. Universidad de Castilla-La Mancha, 2004. ISBN 84-8427-331-8. 101 p.
- Mesén, F. (1994). Curso Nacional sobre selección, clasificación y manejo de fuentes semilleras. CATIE/DANIDA. San Carlos, Costa Rica. 56p.
- Muro, J. (2016). Mejoramiento Genético del Eucalipto. Plantaciones Forestales de Guatemala Grupo GRANDBAY Paper & Care Products Corp. Guatemala.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura FAO (2003). Glosario sobre recursos genéticos forestales. (Versión española). Documento de trabajo: Recursos Genéticos Forestales. Documento de trabajo FGR/42. Servicio de Desarrollo de Recursos. Dirección de Recursos Forestales. FAO, Roma Italia.
- País sigue siendo el mayor consumidor de leña de la región. Siglo 21. Revista Pulso. Consultado 27 de agosto de 2013. Guatemala.
- Reyes, P. (1984). Diseño de experimentos aplicados. Agronomía, Biología, Química. 3ª Reimpresión. Ed. Trillas de CV. 344p.
- Ruíz, H. (2005). Inicio de Cobertura. Resumen Ejecutivo, SIGNAL RESEARCH. 30p.
- Sein, C. and Mitlöhner, R. (2011) Eucalyptus urophylla S.T. Blake: ecology and silviculture. CIFOR, Bogor, Indonesia. Disponible en: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BCIFOR1108.pdf

Ugalde A., L.A. (2003). Guía para el Establecimiento y Medición de Parcelas para el Monitoreo y Evaluación del Crecimiento de Árboles en Investigación y en Programas de Reforestación con la Metodología del Sistema MIRA. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 14 p.

Universidad Autónoma Chapingo. (1983). Crecimiento e Incremento de Árboles y Masas Forestales. 2ª. Ed. 279p.

Universidad San Carlos de Guatemala USAC. (2013). Diseño y Análisis de Experimentos. Fundamentos y aplicaciones en agronomía. 2ª ed. 225p.

Vásquez, A. (2001). Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Ibagué, Tolima. 304p.

Zamora, R.; Barrera, I. (2010). Diagnóstico y Marco de Referencia de la Estrategia y Plan de Acción para el Desarrollo Foresto-Industrial de Guatemala. FAO, UICN, INAB, GFP, PFN, FACILITY. 125p.

11. ANEXOS

1. Boleta de campo 1: evaluación de crecimiento y desarrollo
2. Boleta de campo 2: sobrevivencia
3. Cuadro 25. Condiciones climáticas en la Tinta y San Juan Chamelco, A.V.
4. Cuadros 26-28. Comparativos de clones a los dos años de desarrollo
5. Cuadro 29. Resultados del clon 966 durante los tres años de desarrollo
6. Cuadro 30. Mejores material clonales al tercer año de desarrollo.
7. Cuadro 31. Resultados para la estimación de volumen al tercer año.

BOLETA DE CAMPO 1: Crecimiento y desarrollo

Evaluación de crecimiento y desarrollo:

Materiales genéticos de *Eucalyptus urophylla*

Finca: Universidad Rafael Landívar, Campus de la Verapaz
San Juan Chamelco, Alta Verapaz

Fecha de medición		Primera medición	
Bloque		Segunda medición	
Tratamiento		Fecha de evaluación	

No.	Material	DAP (cm)	Altura (m)	Código de forma (%)	Sobrevivencia (%)	Otros
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

3. Cuadro 25. Condiciones climáticas en La Tinta y Chamelco Alta Verapaz

Municipio de Alta Verapaz	Altitud	Clima	Precipitación pluvial
Santa Catalina La Tinta	310 msnm	26°C	4,000 mm
San Juan Chamelco	1350 msnm	20°C	2,181 mm

4. Cuadro 26. Comparación del clon 1084 a los dos años de desarrollo

Tratamiento	Variable	La Tinta	Chamelco	Diferencia (+ o -)
1084	Altura (m)	7.91 m	6.14 m	1.77 m
1084	DAP (cm)	5.72 cm	6.53 cm	0.80 cm
1084	Volumen (m ³ /ha)	86.67 m ³ /ha	93.5 m ³ /ha	6.83 m ³ /ha
1084	Sobrevivencia (%)	82%	89%	7%
1084	Forma Recta (%)	53.33%	100%	46.67%

Cuadro 27. Comparación del clon 1066 a los dos años de desarrollo

Tratamiento	Variable	La Tinta	Chamelco	Diferencia (+ o -)
1066	Altura (m)	9.09 m	6.86 m	2.23 m
1066	DAP (cm)	6.40 cm	6.11 cm	0.29 cm
1066	Volumen (m ³ /ha)	104.44 m ³ /ha	98.54 m ³ /ha	5.9 m ³ /ha
1066	Sobrevivencia (%)	87%	96%	9%
1066	Forma Recta (%)	57.78%	94%	36.22%
1066	Forma Bifurcada (%)	11.11%	6%	5.11%

Cuadro 28. Comparación del clon 1214 a los dos años de desarrollo

Tratamiento	Variable	La Tinta	Chamelco	Diferencia (+ o -)
1214	Altura (m)	8.77 m	8.07 m	0.7 m
1214	DAP (cm)	6.57 cm	6.5 cm	0.07 cm
1214	Volumen (m ³ /ha)	102.22 m ³ /ha	145.56 m ³ /ha	43.34 m ³ /ha
1214	Sobrevivencia (%)	74%	98%	24%
1214	Forma Recta (%)	46.67%	100%	53.33%

5. Cuadro 29. Resultados del clon 966 durante los tres años de desarrollo.

Clon	Años	DAP	ALTURA	Volumen	Sobrevivencia
966	2 años	8.10 cm	8.37 m	206.03 m ³ /ha	100%
966	3 años	11.06 cm	13.30 m	603.92 m ³ /ha	100%

6. Cuadro 30. Mejores material clonales al tercer año de desarrollo.

Material Clonal	DAP	Altura	Volumen	Sobrevivencia	Forma
966 (T4)	11.06 cm	13.3 m	603.92 m ³ /ha	100%	100%
980 (T2)	9.77 cm	12.98 m	486.58 m ³ /ha	91%	100%

7. Cuadro 31. Resultados para la estimación de volumen al tercer año

TRATAMIENTO	BLOQUE	REPETICIÓN	VOLUMEN (m³/ha)
T1	I	I	290.0292031
T2	I	I	494.2561574
T3	I	I	481.7085517
T4	I	I	622.8257256
T5	I	I	294.1676897
T1	II	II	221.24053
T2	II	II	422.58013
T3	II	II	165.7699
T4	II	II	388.6153417
T5	II	II	254.4571256
T1	III	III	360.5194929
T2	III	III	517.4246081
T3	III	III	362.3918187
T4	III	III	840.1524909
T5	III	III	530.4887566
T1	IV	IV	318.481609
T2	IV	IV	776.779342
T3	IV	IV	207.9585155
T4	IV	IV	696.5570912
T5	IV	IV	486.5377278
T1	V	V	119.00916
T2	V	V	348.7347213
T3	V	V	587.05636
T4	V	V	611.6034646
T5	V	V	95.23457804
T1	VI	VI	320.13872
T2	VI	VI	359.6824413
T3	VI	VI	208.4745372
T4	VI	VI	463.7460707
T5	VI	VI	151.4248751

