

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

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

EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (*Tectona grandis*  
L.f.);

LAS CRUCES, PETÉN

SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

**LUIS ARMANDO XOL CHOCOOJ**

CARNET 21503-10

SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ, JUNIO 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 DEL VOLUMEN DE PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (*Tectona grandis*  
L.f.);

LAS CRUCES, PETÉN  
SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

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

POR  
**LUIS ARMANDO XOL CHOCOOJ**

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, JUNIO DE 2017

CAMPUS "SAN PEDRO CLAVER, S . J." DE LA VERAPAZ

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS  
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

MGTR. EDWIN ESTUARDO VAIDES LÓPEZ

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

MGTR. JERSON ELIZARDO QUEVEDO CORADO  
ING. HARRY FLORENCIO DE MATA MENDIZABAL  
ING. SERGIO ALEJANDRO MANSILLA JIMÉNEZ

Guatemala, 01 de Julio del 2017

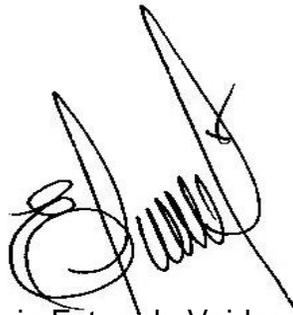
Honorable Consejo  
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Universidad Rafael Landívar

Distinguidos Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Luis Armando Xol Chocooj, que se identifica con carné número **21503-10**, titulado: **“EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (*Tectona grandis* L.f.); LAS CRUCES, PETÉN”**.

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'E. V. López', written over a circular stamp or seal.

Ing. Agr. Edwin Estuardo Vaidés López, M.Sc.  
Colegiado No. 2556  
Código URL 9907

**Orden de Impresión**

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Sistematización de Práctica Profesional del estudiante LUIS ARMANDO XOL CHOCOOJ, Carnet 21503-10 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL CON ÉNFASIS EN SILVICULTURA Y MANEJO DE BOSQUES, del Campus de La Verapaz, que consta en el Acta No. 0683-2017 de fecha 24 de mayo de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (*Tectona grandis* L.f.);  
LAS CRUCES, PETÉN**

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 27 días del mes de junio del año 2017.



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

## AGRADECIMIENTOS

**A:**

**Dios:** por concederme la vida y guiarme por el camino del bien.

**La familia:** siempre incondicional en cada etapa de mi vida, fuente de inspiración y superación.

**La Universidad Rafael Landívar:** en especial La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por formarme profesionalmente.

**Mi asesor:** M.Sc. Ing. Edwin Estuardo Vaides López por su valiosa asesoría y su apoyo incondicional durante la elaboración de esta investigación.

**Mis catedráticos:** por compartir sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.

**A mi centro de práctica:** la Gerencia Forestal de la empresa Tripan Guatemala S.A. por haberme permitido realizar la práctica profesional supervisada en las fincas con plantaciones forestales, en especial al Departamento de Mensura y Cartografía a cargo del Ing. Fernando Enríquez.

## DEDICATORIA

**A:**

**Dios:** Por sus bendiciones a mi vida, al darme salud y guiarme para alcanzar esta meta.

**Mis padres:** Pedro Xol y María Elena Chocooj, por sus consejos que han sido de gran ayuda para mi crecimiento personal y profesional, este éxito sea un reconocimiento a sus múltiples esfuerzos.

**Mis hermanos:** Por ser parte importante de mi vida y este triunfo que hoy celebro sea un ejemplo para su vida.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>SUMMARY</b> .....	ii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	2
2.1 REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1.1 Origen y descripción de la Teca ( <i>Tectona grandis</i> L. f.).....	2
2.1.2 Descripción taxonómica .....	2
2.1.3 Descripción botánica.....	2
2.1.4 Suelo, clima y topografía requeridos por la teca .....	3
2.1.5 Calidad de sitio.....	3
2.1.6 Crecimiento de la teca .....	4
2.1.8 Calidad de plantaciones.....	9
2.1.9 Forma y tamaño de parcelas .....	12
2.1.10 Tipos de muestreos.....	13
2.2 DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA .....	14
2.2.1 Localización de las fincas.....	14
2.2.2 Área de trabajo: municipios de La Libertad y Las Cruces.....	15
2.2.3 Comunidades de influencia del área de estudio .....	16
2.2.4 Estructura administrativa, roles y oficinas de la empresa.....	16
a. Organización .....	17
b. Antecedentes de la empresa.....	18
c. Objetivo .....	18
d. Función de la empresa reforestadora.....	18
e. Estrategia de relacionamiento comunitario.....	18
f. Política forestal de la empresa .....	19
<b>3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA – JUSTIFICACIÓN</b> .....	20
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	22
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	22
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
<b>5. PLAN DE TRABAJO</b> .....	23

5.1 PROGRAMA DESARROLLADO .....	23
5.1.1 Establecimiento de estratos en plantaciones de teca, (Objetivo 1) .....	23
5.1.2 Inventario forestal, (Objetivo 2) .....	25
5.1.3 Análisis de crecimiento y productividad, (Objetivo 3) .....	29
5.1.4 Evaluación de la calidad de los árboles en pie de las plantaciones, (Objetivo 4).....	31
5.1.5 Otras actividades .....	33
5.2 INDICADORES DE RESULTADO.....	34
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>36</b>
6.1 ESTRATOS DE USO EN PLANTACIONES DE TECA .....	36
6.1.1 Uso actual de las fincas evaluadas .....	36
6.1.2 Estratificación de la plantación de las fincas .....	37
6.2 INVENTARIO FORESTAL DE LAS PLANTACIONES .....	38
6.2.1 Análisis estadísticos de las fincas evaluadas.....	39
6.2.2 Resumen de inventarios de fincas evaluadas .....	41
6.3 EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD .....	50
6.3.1 Crecimiento .....	51
6.3.2 Productividad .....	53
6.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PLANTACIONES .....	56
6.4.1 Defectos de fuste y códigos de forma .....	56
6.4.2 Clasificación del árbol según la posición de la copa .....	58
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>64</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
10.1 Boleta para levantamiento de parcelas en inventario Forestal .....	67
10.2 Mapas de distribución de parcelas de las fincas evaluadas .....	68
10.3 Mapas de uso de las fincas evaluadas en la Práctica Profesional .....	70
10.4 Formulas del análisis estadístico de acuerdo a Orozco y Brumer (2002).....	72
10.5 Organigrama de la empresa reforestadora donde se efectuó la práctica .....	73
10.6 Levantamiento de parcelas de muestreo en plantaciones de 3 años de edad y medición de variables directas e indirectas.....	74

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Promedio de variables directas e indirectas por clase de crecimiento para cada sitio.....	5
Cuadro 2.	Promedio de crecimiento y productividad en cuatro clases de sitio.....	6
Cuadro 3.	Variables para defectos del fuste, de acuerdo a la metodología MIRA-SILV.....	10
Cuadro 4.	Variables para forma, de acuerdo a la metodología utilizada por MIRA-SILV.....	10
Cuadro 5.	Clasificación de los árboles según el tamaño relativo dentro del bosque.....	11
Cuadro 6.	Nombre de fincas, área total con plantaciones de teca y otros usos, evaluados en dicho estudio.....	24
Cuadro 7.	Numero de parcelas evaluadas por finca.....	27
Cuadro 8.	Códigos de forma y defecto de fuste evaluados en las plantaciones de teca .....	32
Cuadro 9.	Clasificación del árbol según la posición de la copa.....	33
Cuadro 10.	Resumen del uso actual de las cuatro fincas evaluadas.....	36
Cuadro 11.	Estratificación de la plantación de la finca 123.....	38
Cuadro 12.	Resumen de análisis estadístico de las fincas 120, 135 y 138.....	39
Cuadro 13.	Resumen de análisis estadístico de la finca 123 por estrato.....	41
Cuadro 14.	Tabla de rodal de la finca 120.....	42
Cuadro 15.	Tabla de rodal del estrato I de la finca 123.....	44
Cuadro 16.	Tabla de rodal del estrato II de la finca 123.....	46
Cuadro 17.	Tabla de rodal de la finca 135.....	48
Cuadro 18.	Tabla de rodal de la finca 138.....	49
Cuadro 19.	Promedios de crecimiento en DAP y altura total de las fincas evaluadas.....	51
Cuadro 20.	Valores de IMA en DAP y altura total evaluados para Guatemala y los encontrados en el presente estudio.....	53
Cuadro 21.	Promedios de productividad en área basal y volumen total de las fincas evaluadas con plantaciones de teca.....	54
Cuadro 22.	Porcentaje de los defectos de fuste y códigos de forma de las fincas evaluadas con plantaciones de teca.....	58
Cuadro 23.	Posición con respecto al dosel de los árboles de las fincas evaluadas con plantaciones de teca, expresado en porcentaje.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de los municipios de La Libertad, Las Cruces y Sayaxche, Petén, Guatemala.....	15
Figura 2.	Mapa de ubicación de las fincas plantadas con teca por la empresa administradora.....	16
Figura 3.	Tipos de uso de las fincas evaluadas en la práctica profesional supervisada.....	37
Figura 4.	Estructura del rodal de plantación de teca de la finca 120.....	43
Figura 5.	Estructura de rodal de plantación de teca del estrato I de la finca 123...	45
Figura 6.	Estructura de rodal de plantación de teca del estrato II de la finca 123...	47
Figura 7.	Estructura del rodal de plantación de teca de la finca 135.....	48
Figura 8.	Estructura del rodal de plantación de teca de la finca 138.....	50
Figura 9.	Promedio de crecimiento en DAP de las fincas evaluadas con plantaciones de teca.....	52
Figura 10.	Promedio de crecimiento en Altura total de las fincas evaluadas con plantaciones de teca.....	52
Figura 11.	Promedio de productividad en área basal de las fincas evaluadas con plantaciones de teca.....	54
Figura 12.	Promedio de productividad en Volumen de las fincas evaluadas.....	55
Figura 13.	Porcentaje de los defectos de fuste y de forma de las plantaciones.....	57
Figura 14.	Posición de los árboles de las fincas evaluadas con plantaciones de teca.....	59

## **EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (*Tectona grandis* L.f.); LAS CRUCES, PETÉN**

### **RESUMEN**

La sistematización de práctica profesional se realizó en la empresa Tripan Guatemala S.A., en el departamento de Cartografía y Mensura Forestal, evaluando 4 fincas con plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 3 años de edad, 2 fincas en el Municipio de Las Cruces y 2 Fincas en el Municipio de La Libertad en el Departamento de Petén. La práctica tuvo como objetivo general evaluar el volumen actual y la calidad en plantaciones forestales de teca, con fines de producción de madera en rollo. Previo a evaluar las plantaciones se corroboró el uso actual de las 4 fincas. Este resultado mostró que el uso predominante corresponde a plantaciones forestales con una superficie del 79.8% y el 20.2% son de otros usos; para la evaluación de las plantaciones se tomaron en cuenta variables directas e indirectas, para generar y analizar el inventario para cada finca, encontrando un volumen total que oscila entre 25 a 68 m<sup>3</sup>/ha; así mismo se analizó el crecimiento y la productividad en base a su incremento medio anual -IMA-, tomando como base los datos del inventario, se encontró un promedio de productividad de IMA en volumen de 15.85 m<sup>3</sup>/ha/año. También se evaluó la calidad de las plantaciones de acuerdo a los códigos de forma y defecto de fuste establecidos en el sistema MIRA-SILV®, y la posición de la copa o tamaño relativo respecto al dosel de los árboles, encontrando más del 90% de árboles de buena calidad.

# **EVALUATION OF THE VOLUME OF FOREST PLANTATIONS OF TEAK (*Tectona grandis* L.f.); LAS CRUCES, PETÉN**

## **SUMMARY**

The systematization of professional practicum was carried out at the company Tripan Guatemala S.A. with the Office of Cartography and Forest Measurement. Four farms with forest plantations of 3-year-old teak (*Tectona grandis* L.f.) were evaluated. Two of the farms are located in the municipality of Las Cruces, while the other two are in the municipality of La Libertad, department [political division] of Petén. The purpose of the practicum was to evaluate the current volume and quality in the forest plantations of teak meant for roundwood production. Before the plantations were evaluated, the current use of the four farms was confirmed. The results showed that the predominant use is indeed forest plantations with a surface of 79.8%, where the remaining 20.2% is meant for other uses. Direct and indirect variables were considered in the evaluation of the plantations to generate and analyze the inventory of each farm. The total volume found ranged between 25 and 68 m<sup>3</sup>/ha. In the same fashion, the growth and productivity were evaluated based on the mean annual increment -MAI-, taking the inventory data as the basis. The result was an average productivity of MAI of 15.85 m<sup>3</sup>/ha/year in volume. Additionally, the quality of the plantations was evaluated against the code of shape and defects of the trunks established in the MIRA-SILV®, and the position of the crown or relative size in respect to the canopy of the trees. The results showed that more than 90% of the trees are of good quality.

## 1. INTRODUCCIÓN

Guatemala presenta condiciones ambientales (clima, suelo y precipitación), adecuadas para el establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales, que se pueden desarrollar con especies nativas y exóticas, tomando en cuenta que la selección de la especie debe hacerse de acuerdo a las características de los sitios, para aprovechar su potencial productivo.

La teca (*Tectona grandis* L.f.) es la especie no nativa más reforestada a través del Programa de Incentivos Forestales -PINFOR- del Instituto Nacional de Bosques –INAB- en Guatemala, desde el año 1997 hasta el 2013 se han registrado un total de 18,222.36 hectáreas plantadas con teca (crecimiento promedio de 1,071 hectáreas anuales), representado una inversión del estado de 211,238,309.78 quetzales por concepto de incentivo forestal, en el periodo de 15 años que se ha incentivado esta especie, debido a sus características de excelente crecimiento y productividad, puesto que la demanda de madera de esta especie se ha incrementado con el paso de los años y los precios de venta de estos productos hacen muy rentables estas plantaciones.

Las ventajas comerciales de la producción forestal con especies de alto valor, como el caso de la teca, es maximizar la producción de las plantaciones, empleando los mejores materiales (semillas o clones), estableciéndolas en los sitios más adecuados y proporcionándole un manejo silvicultural oportuno, decisiones que serán mejor tomadas mientras se tenga la mayor información disponible sobre el desarrollo y manejo forestal.

El presente estudio se realizó, con el fin de evaluar el volumen actual y la productividad de las plantaciones de teca, establecidas en el año 2013 en 4 fincas de la empresa reforestadora en los municipios de La Libertad y Las Cruces, Petén. El estudio también toma en cuenta la evaluación de la calidad de los árboles para maximizar la producción, así logrando los objetivos proyectados de dichas plantaciones. Para evaluar el crecimiento y la productividad de la plantación se partió desde el establecimiento de parcelas de muestreo hasta la evaluación de calidad de la plantación de acuerdo a los códigos de forma y defecto de fuste utilizado por MIRASILV.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1.1 Origen y descripción de la Teca (*Tectona grandis* L. f.)

La teca es un árbol que procede de la India, Birmania, y otros países de Asia, cuya madera ha sido muy valorada desde hace cientos de años, principalmente por su durabilidad natural y su belleza, donde alcanza alturas de 30-40 m en condiciones favorables, con un fuste recto bastante cilíndrico y largo, su corteza ligeramente agrietada de color marrón y con una edad de rotación de 18 a 20 años (Arzubialde, 2007).

Para el 2015 en Guatemala las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) alcanzan aproximadamente 33,000 hectáreas, de las cuales 80% se ubican en la región septentrional (Mollinedo, Herrera y Muñoz 2016).

#### 2.1.2 Descripción taxonómica

De acuerdo The list of plants (2010), la teca pertenece al género *Tectona* está en la familia Lamiaceae en los principales grupos angiospermas (plantas con flores) y su nombre científico es el de *Tectona grandis* L.f.

#### 2.1.3 Descripción botánica

Según Vaides (2004), la teca en Guatemala alcanza los 35 m de altura y 45 centímetros de Diámetro a la Altura del Pecho en los mejores sitios, así también presenta fustes rectos con corteza áspera y delgada, que generalmente cuentan con dominancia apical.

Las hojas de la Teca son opuestas y muy grandes, algunas, sobre todo en los árboles más jóvenes, tienen más de medio metro de largo, al principio presentan una coloración rojiza para luego pasar a verde. Las hojas se caen al comienzo de la época seca y vuelven a retoñar con las primeras lluvias; los frutos son de tipo drupa, como una pequeña nuez, aparecen agrupados en ramillas que se llaman panículas erectas, tienen una bolsa que primero es verde y luego marrón (Arzubialde, 2007). Las flores están formadas por un

cáliz campanulada, color amarillo verdoso, de borde dentado, los pétalos se juntan formando un tubo corto (Fonseca, 2004).

Según Gutiérrez (2008), el uso de la madera de teca se considera, justificadamente, como la mejor para la construcción de embarcaciones, es extraordinariamente adecuada para construcciones terrestres y acuáticas, así como para fines decorativos (interiores y mueblería de lujo), leña y carbonización.

#### **2.1.4 Suelo, clima y topografía requeridos por la teca**

En condiciones naturales, la teca se encuentra en sitios con las siguientes condiciones: temperatura entre 21-28°C, precipitación entre 1000-1800 mm/año, con una estación seca marcada de tres a siete meses de duración, en altitudes de 600-1200 msnm. El mejor desarrollo de la especie se da en suelos franco arenosos a arcillosos, fértiles bien drenados y profundos, con pH ligeramente ácidos o neutros o que este entre 5.0 y 8.5, ya que mayor de 5 tolera condiciones de suelo muy extremas, siempre que exista un drenaje adecuado (Briscoe 1995 y Lamprecht 1990; citados por De Camino y Morales, 2013).

Vaides (2004), encontró que las condiciones naturales adecuadas para la teca se encontraron en terrenos que presentaron temperatura media anual cercana a los 26 grados centígrados, precipitación entre 1900 y 2850 mm anuales, elevación menor a 220 msnm, pH por arriba de 5.5, pendiente de terreno que no exceda el 40 %, en sitios con terrenos ondulados a planos, con poca o mediana pedregosidad. Se deben de elegir suelos que presenten poca o ningún tipo de compactación, debido a que esta variable limita el crecimiento radicular de la especie, disminuyendo la posibilidad de absorción de nutrientes y agua del suelo.

#### **2.1.5 Calidad de sitio**

En la actualidad De Camino y Morales (2013), han tratado de resumir un concepto sobre la calidad de sitio forestal, que se define como la interacción de los factores que conforman el sitio (factores bióticos y abióticos) y determina la máxima producción de

madera o biomasa que es posible cosechar en un tiempo dado en un sitio en particular. Según sea la calidad del sitio, así será el crecimiento y rendimiento en productos de una determinada especie en ese sitio.

Con base a los estudios realizados por distintos autores como (Chávez y Fonseca, 1991; Hernández, 1993; Vásquez y Ugalde, 1995; Vallejos, 1996; Montero, 2001; Mollinedo, 2003; Alvarado y Fallas, 2004; citados por Vaides 2004); las variables de sitio que han demostrado tener relación con la productividad de Teca en la Región Centroamericana están agrupadas en tres principales categorías que son:

- Fisiográficas: Pendiente, Posición topográfica, Paisaje.
- Climáticas: Precipitación, Déficit hídrico, Temperatura.
- Edáficas: Compactación, Profundidad del suelo, Drenaje, Calcio, Hierro y Magnesio, Saturación de calcio y acidez.

Debe recordarse que, aun escogiendo los mejores sitios para plantar teca, el resultado final puede ser que las plantaciones no crezcan como se espera debido a errores silviculturales como la utilización de material genético de mala calidad, la siembra tardía o temprana para el sitio, el inadecuado control de malezas y los años y tipo de uso anterior del terreno (De Camino y Morales, 2013).

### **2.1.6 Crecimiento de la teca**

De acuerdo Fernández, Alvarado, San Miguel, Marchamalo (2014), mencionan que para una buen crecimiento y productividad en plantaciones de teca es importante el manejo del suelo y la nutrición de la especie, tomando en cuenta que existen algunas deficiencias de nutrientes en el suelo para dicha especie ya que la nutrición y fertilización son factores clave en la determinación de la gestión y la productividad, otro estudio realizado por Fernández, Murillo, Portuguez, Fallas, Ríos, Kottman, Verjans, Mata y Alvarado (2013), mencionan también que para alcanzar una alta productividad y sostenibilidad, hay que tomar en cuenta lo siguiente: el declive relacionado con la edad en la productividad; la nutrición de la plantación; concentración de nutrientes; concentración foliar de nutrientes

y la reabsorción. Mientras que Fallas (2012), evidencio que una fertilización escalonada por edad en plantaciones de teca es recomendable para mejorar el crecimiento y productividad de los árboles.

Estudios realizados por diferentes autores sobre el crecimiento y la productividad de plantaciones de teca en Guatemala y otros países están los siguientes autores:

Según el estudio realizado por Mollinedo, *et al.*, (2016), sobre la caracterización del crecimiento de plantaciones de teca en Guatemala, en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz y El Peten, determinaron un promedio de crecimiento en todos los sitios evaluados que son lo siguiente: 13.01% de los sitios presentan crecimientos altos, 70.66% crecimientos medios y 16.33% crecimientos bajos.

Con base al análisis de crecimiento y productividad de las plantaciones de teca en el área llamada “Área septentrional” determinaron tres tipos de crecimiento con su respectivo promedio de las variables directas e indirectas que se muestra en el (cuadro 1).

Cuadro 1. Promedio de variables directas e indirectas por clase de crecimiento para cada sitio

<b>Clase de crecimiento</b>	<b>IS<sub>10</sub> (m)</b>	<b>IMA DAP (cm/año)</b>	<b>IMA HTOT (m/año)</b>	<b>IMA AB (m<sup>2</sup>/ha/año)</b>	<b>IMA VOL (m<sup>3</sup>/ha/año)</b>
<b>BAJO</b>	12.94	1.65	1.34	0.62	2.55
<b>MEDIO</b>	19.13	2.23	1.98	1.55	9.89
<b>ALTO</b>	25.32	2.82	2.62	2.48	17.22

(Mollinedo, *et al.*, 2016).

Caal (2014), evaluó el crecimiento y productividad posterior al primer raleo comercial de plantaciones de Teca en Petén con tres escenarios, las cuales encontró que para las variables de crecimiento post-raleo comercial son datos promedio de DAP (cm) 13.5, 15.1 y 14.9; altura (mts) 11.09, 10.39 y 11.87 con respecto a cada escenario. Determinando que a mayor es la intensidad de raleo, el DAP promedio incrementa, esto debido a que se eliminan en su mayoría individuos con diámetros menores; mientras que para la variable altura menos se ve afectada por la densidad.

La evaluación realizada por Vaides (2004), en Guatemala en cinco regiones del país (Alta Verapaz y Baja Verapaz, Nororiente, Petén y Costa Sur) sobre crecimiento y productividad de las plantaciones teca determinó que el 38 % del total de los sitios evaluados se encuentran en terrenos con productividad baja. Esto muestra que dichas plantaciones no se encuentran establecidas en sitios ideales para el crecimiento de teca. El 35 % del total de los sitios se encontraron en terrenos de productividad alta y excelente y el restante 27 % de los sitios se encuentran en terrenos con productividad media. En el (cuadro 2) se muestra los promedios de crecimiento y productividad de las plantaciones evaluadas.

Cuadro 2. Promedio de crecimiento y productividad en cuatro clases de sitio

Clase de sitio	Índice de sitio (m)	IS <sub>10</sub>	IMA DAP (cm/año)	IMA HTOT (m/año)	IMA AB (m <sup>2</sup> /ha/año)	IMA VOL (m <sup>3</sup> /ha/año)
<b>BAJO</b>	< a 5	11.38	1.60	1.30	0.75	2.33
<b>MEDIO</b>	5 a 10	17.19	2.29	2.04	1.66	7.07
<b>ALTO</b>	10 a 20	18.40	2.78	2.48	2.51	14.36
<b>EXCELENTE</b>	>a 20	26.43	3.48	3.09	3.95	29.36

(Vaides, 2004).

Gutiérrez (2008), evaluó las plantaciones de teca de la finca Sexán Ixté, Chahal, Alta Verapaz, determinando los valores promedio de IMA en volumen total a un año después del raleo fueron de 11.58 y 14.85 m<sup>3</sup>/ha/año para los sitios medio y alto respectivamente. Para el segundo año los valores promedio de IMA en volumen total encontrados fueron de 12.74 y 16.14 m<sup>3</sup>/ha/año para los sitios medio y alto respectivamente, así en la evaluación de DAP se encontraron los valores promedio después de un año del raleo que fueron de 18.88 y 19.34 cm para los sitios bajo y medio respectivamente. Para el segundo año los valores promedio ajustados encontrados fueron de 20.26 y 21.15 cm para los sitios bajo y medio respectivamente.

Mollinedo (2003), clasificó las plantaciones de teca en tres clases de crecimiento en su estudio en la cuenca del Canal de Panamá; en sitios con crecimiento bajo el IMA fue

menor de 5 m<sup>3</sup>/ha/año, de 5 a 10 m<sup>3</sup>/ha/año en sitios medios y de más de 10 m<sup>3</sup>/ha/año en los sitios con crecimiento alto, ya que las mejores plantaciones alcanzaron solo 13,33 m<sup>3</sup>/ha/año. Estos resultados indican que, con una buena selección de sitio, se puede alcanzar un desarrollo excelente de teca en Guatemala.

La teca (*Tectona grandis* L. F) es una especie que presenta un crecimiento rápido en la etapa inicial, seguida por una etapa de medio crecimiento, luego de 8 a 10 años, el crecimiento disminuye (Chávez y Fonseca, 1991). Indicadores que contribuyen en el crecimiento de un rodal, estos indicadores son: la capacidad productiva del sitio, la densidad o espacio disponible para el crecimiento y la composición en tamaño de individuos y diversidad de especies (Torres y Magaña, 2001; citado por Chub, 2011).

### **2.1.7 Inventario forestal**

El inventario forestal es el método usado para recoger datos del bosque a manejar, la forma de procesarlos para referir información sobre la cantidad y calidad de los árboles, así como prescribir los tratamientos silvícolas en el periodo del plan de manejo, de acuerdo al objetivo previsto para el propietario del bosque (Carrera, 1998).

Para Prodan, Peters, Cox y Real (1997), uno de los objetivos centrales del inventario forestal es describir poblaciones de bosques en términos del valor total de algún atributo de todos los árboles como área basal, volumen y otras características.

La clasificación de inventarios según objetivo considera los siguientes Tipos:

- **Inventarios para el manejo del bosque natural**

El manejo de bosques natural implica cuatro fases: planificación, aprovechamiento de bajo impacto, tratamientos silviculturales de post-cosecha y monitoreo.

#### **1. Inventario general**

El objetivo de un inventario forestal general es generar información para facilitar la planificación del manejo forestal a mediano y largo plazo. Este tipo de inventario se realiza por muestreo sistemático o aleatorio, con una intensidad entre 1 y 5%

del área total efectiva de manejo, y se diseña para obtener entre 15 y 20% de error de muestreo al 95% de confiabilidad, para los estimados de área basal o del volumen por hectárea (Maginnis, Mendez, Davies, 1998).

Para poder definir el tamaño de la muestra de la investigación, se basó con la metodología de la empresa reforestadora, tomando en cuenta que la intensidad de muestreo es de 0.75%, que equivale 1 parcela circular de 300m<sup>2</sup> para cada 4 ha de plantación. La fórmula utilizada para determinar el tamaño de la muestra fue la siguiente:

$$Am = AT * (I.M./100)$$

$$n = Am/Tp$$

**Donde:**

**I.M.** = intensidad de muestreo

**AT** = área total a evaluar en m<sup>2</sup>

**Am** = área de muestreo en m<sup>2</sup>

**Tp** = área de la parcela en m<sup>2</sup>

**n** = número de parcelas

## **2. Inventario de existencia o censo comercial**

Según Higman, Bass, Judd y Nussbaum (1999), el objetivo de este inventario es diseñar un plan de aprovechamiento forestal de bajo impacto. Este inventario debe generar información sobre la topografía del terreno, ubicación en el terreno de todos los árboles con diámetro superior al diámetro mínimo de corta. Este tipo de inventario no se practica en todo el bosque, sino que solo en el área programado aprovechar o área de corta anual.

## **3. Inventario post-cosecha**

Para Higman, et al. (1999), el objetivo principal del inventario post-cosecha es generar información para la prescripción y ejecución de tratamientos silviculturales recomendados después del aprovechamiento. No se descarta la ejecución de tratamientos antes y durante el aprovechamiento, pero solo en casos especiales.

#### **4. Inventario para el manejo de plantaciones**

Para Maginnis, et al. (1998), el inventario para manejo de plantaciones se requiere principalmente de información sobre el área total de la plantación distribuida por tipos de rodales. Los criterios para diferenciar entre rodales son: edad, especie, calidad de sitio y densidad. Para cada rodal se debe calcular el área total y el área efectiva. Una de las variables más importantes para el manejo de plantaciones es la densidad del rodal, la cual mide el grado de competencia a que están sometidos los árboles. Esta variable se maneja para lograr objetivos específicos, tales como maximizar la tasa de crecimiento en un tiempo corto para aprovecharlos.

Este tipo de inventario es el que se adecua para plantaciones, ya que se puede recolectar utilizando cualquiera de los diseños de muestreo. El mejor diseño que se recomienda para las plantaciones es el muestreo sistemático estratificado del bosque.

##### **2.1.8 Calidad de plantaciones**

Según Ugalde (2000), para determinar la calidad de una plantación, se necesitan de otros parámetros, evaluando el estado de la plantación y su madera próxima a producir.

En la investigación a realizar se tomarán los siguientes parámetros que son: forma y defectos del fuste que serán evaluadas en base a los códigos de forma y defecto del fuste que utiliza MIRASILV.

##### **- forma y defecto del fuste de los arboles**

Según Ugalde (2000), para la medición de la calidad de los árboles en plantaciones, MIRA-SILV® consta de códigos de forma y defectos de fuste establecidos por la metodología que se presenta en el (cuadro 3 y 4), este sistema tiene como objetivo principal, apoyar a la investigación forestal en relación al seguimiento del crecimiento de los árboles en programas de reforestación y en diferentes sistemas de producción forestal, agroforestal y silvopastoril.

Cuadro 3. Variables para defectos del fuste, de acuerdo a la metodología MIRA-SILV

<b>DEFECTOS DE FUSTE</b>	
<b>Código</b>	<b>Significado</b>
A	Tallo quebrado con recuperación
B	Tallo quebrado sin recuperación
C	Sincopa
D	Replantación
E	Spp. Extraña
F	Rebrote
G	Raleado
H	Regeneración natural
I	Dominante
J	Codominante
K	Suprimido
L	Ejes rectos y sin defecto de forma

(MIRA-SILV®, 2003).

Cuadro 4. Variables para forma, de acuerdo a la metodología utilizada por MIRA-SILV

<b>CÓDIGOS DE FORMA</b>	
<b>Código</b>	<b>Significado</b>
1	Cola de zorro
2	Poco sinuoso
3	Muy sinuoso
4	Torcedura basal
5	Bifurcado
6	Inclinado
7	Enfermo
8	Con plagas
9	Copa asimétrica

(MIRA-SILV®, 2003).

- **Clasificación del árbol según el tamaño relativo (posición)**

Los árboles se clasifican según el tamaño relativo dentro del bosque en: dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos (Cuadro 5). Esta clasificación no es permanente durante la rotación de un bosque, ya que la dinámica de crecimiento, determinada por aspectos genéticos y condiciones

ambientales, puede producir variaciones en el tiempo, especialmente si se ha intervenido el bosque con podas y raleos. Por ello, un porcentaje de árboles puede cambiar su posición de dominancia dentro del rodal, lo cual normalmente ocurre en un movimiento de categoría, tanto hacia abajo o arriba en esta clasificación (Sotomayor, Helmke y García, 2002).

Estudios en plantaciones y en algunos rodales naturales homogéneos han mostrado que los árboles suprimidos o dominados, sean estos grandes o pequeños, generalmente crecen más despacio que aquellos expuestos o dominantes. Se cree que un indicador de posición de copa es el más importante para modelos de crecimiento y la posterior proyección de incrementos (Synnott, 1990).

Cuadro 5. Clasificación de los árboles según el tamaño relativo dentro del bosque

<b>Tamaño relativo (Posición)</b>	<b>Descripción</b>
Dominantes	Las copas reciben luz directa por arriba y por los lados.
Codominantes	Las copas reciben luz directa por arriba, pero poco de los lados.
Intermedios	Árboles más pequeños. Reciben luz directa, escasa desde arriba y ninguna de los lados. Cuando son intolerantes, con el tiempo tienden a bajar su crecimiento o mueren en esta posición.
Suprimidos	Las copas están totalmente por debajo del nivel general. No reciben luz ni de arriba ni de los lados. Los intolerantes mueren. Los tolerantes, mantienen su posición o suben al dosel superior en ausencia de perturbaciones exógenas o endógenas.

(Sotomayor, *et al.*, 2002).

### **2.1.9 Forma y tamaño de parcelas**

En un inventario forestal se puede utilizar cualquier tipo de parcelas para obtener estimaciones del volumen por hectárea o del volumen total de un bosque. En bosques homogéneos en cuanto a la variable que se quiere evaluar, el error de muestreo tiende a disminuir si se utilizan parcelas pequeñas; en bosques muy heterogéneos, por el contrario, el coeficiente de variación aumenta cuando se utilizan parcelas pequeñas (Orozco y Brumer, 2002).

Para Guatemala el tamaño apropiado de las parcelas, varía dependiendo de los objetivos de la investigación del producto final y de las variables a medir (Salazar, 2008; citado por Fuentes, 2014).

Las parcelas pueden tener la forma que más convenga según el área donde se encuentre y tiempo disponible, de tal manera que podamos tener sitios cuadrados, rectangulares, circulares, triangulares, romboidales e irregulares, aunque las tres formas geométricas que más se han utilizado en inventarios forestales son los siguientes:

#### **- Parcelas circulares**

Las parcelas circulares son los que más frecuentemente se usan en inventarios forestales en América del Norte, incluyendo a México, y del noroeste de Europa, especialmente Escandinavia y Finlandia, principalmente en bosques de clima templado y frío. Su gran popularidad radica en la relativa facilidad para delimitarlos y es más representativo tomando en cuenta que tienen el menor perímetro y por consiguiente el menor número de árboles límites ya que una vez establecida la posición de su centro basta con “lanzar” radios desde éste hacia la periferia. Otros procedimientos, más seguros y eficientes, consisten en emplear distanció metros ópticos o electrónicos que permiten determinar con rapidez y objetividad la posición de los árboles respecto al límite de la parcela (Prodan, *et al.*, 1997).

- **Parcelas cuadradas**

La mejor forma de delimitar parcelas cuadradas es trazando diagonales desde el centro (Prodan, *et al.*, 1997). Esta operación puede hacerse con eficiencia y precisión empleando un cuadrante de material estable y resistente con las diagonales marcadas, que se monta en el centro de la parcela. Las parcelas de forma cuadrada se emplean principalmente cuando las unidades de muestreo son de gran tamaño.

- **Parcelas rectangulares o fajas**

Las parcelas rectangulares o fajas se emplean corrientemente en inventarios de bosques naturales (Prodan, *et al.*, 1997). El ancho de las fajas corresponde a una distancia que permita comprobar fácilmente la situación de árboles en el límite, aún en condiciones de visibilidad muy adversas. El ancho de las fajas varía en general entre 5 y 20 metros, mientras que su longitud puede variar entre 50 y varias centenas de metros.

### **2.1.10 Tipos de muestreos**

- **Muestreo aleatorio simple**

Para Orozco y Brumer (2002), el muestreo aleatorio simple (MAS) es considerado el más exacto de todos, cuando se aplica en poblaciones con unidades de muestreo homogéneas en cuanto al parámetro poblacional que se desea estimar (vol. Total, área basal y número de árboles por hectárea). Su metodología de aplicación consiste en la selección aleatoria de una muestra de tamaño  $n$  entre las  $N$  unidades que constituyen la población, de forma tal que cada una de ellas tengan la misma probabilidad de ser elegida, y las extracciones son independientes unas de otras. Cuando las unidades muestrales se distribuyen al azar en inventarios, usualmente se establece una distancia mínima entre parcelas, que al menos impide que sus áreas se traslapen.

- **Muestreo sistemático**

Malleux (1982), señala que el muestro sistemático generalmente da resultados más precisos que el muestreo al azar, debido a que el área es cubierta en una forma más

regular y proporcional, además los cálculos generan un aproximado del máximo error de muestreo y no el promedio del error de muestreo como el caso del muestreo al azar.

El muestreo sistemático empleado en inventarios forestales consiste en distribuir una red de parcelas ordenadas conforme a una geometría regular, sobre el área que se quiere muestrear. Este ordenamiento puede ser en red rectangular, cuadrada o de otro tipo. La distribución se inicia localizando aleatoriamente una unidad cualquiera de la red.

#### **- Muestreo estratificado**

Para Prodan, et al., (1997), el proceso de estratificación consiste en dividir una población en subpoblaciones o estratos que son muestreados en forma independiente, de modo que pueden efectuarse estimaciones por estrato y una estimación global de sus parámetros. Los estratos pueden corresponder a diferentes tipos boscosos delimitados sobre fotos aéreas, imágenes satelitales o escenas aéreas de video. Los tipos boscosos pueden diferenciarse según la composición de especies, manejo o estado de intervención, estructura, estado de desarrollo, etc.

## **2.2 DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA**

La empresa reforestadora se ubica en departamento de Petén, que se dedica a reforestar y producir madera de teca con calidad óptima de exportación, para protección del medio ambiente y generar fuentes de trabajo y con la misión al desarrollo forestal e industrial capaz de mejorar la economía del país.

### **2.2.1 Localización de las fincas**

Las plantaciones de teca, se ubican en el departamento de Petén (Figura 1), en los municipios de la Libertad, Las Cruces y Sayaxche. Este departamento, está situado en la parte norte de Guatemala, limita al norte y oeste con México; al este con Belice y al sur con los departamentos de Izabal y Alta Verapaz. Posee una extensión territorial de 35,854 km<sup>2</sup>, siendo el departamento más extenso de Guatemala, así como en la entidad sub nacional más grande de Centroamérica. Flores, la cabecera departamental, se encuentra aproximadamente a 488 km de la ciudad de Guatemala.

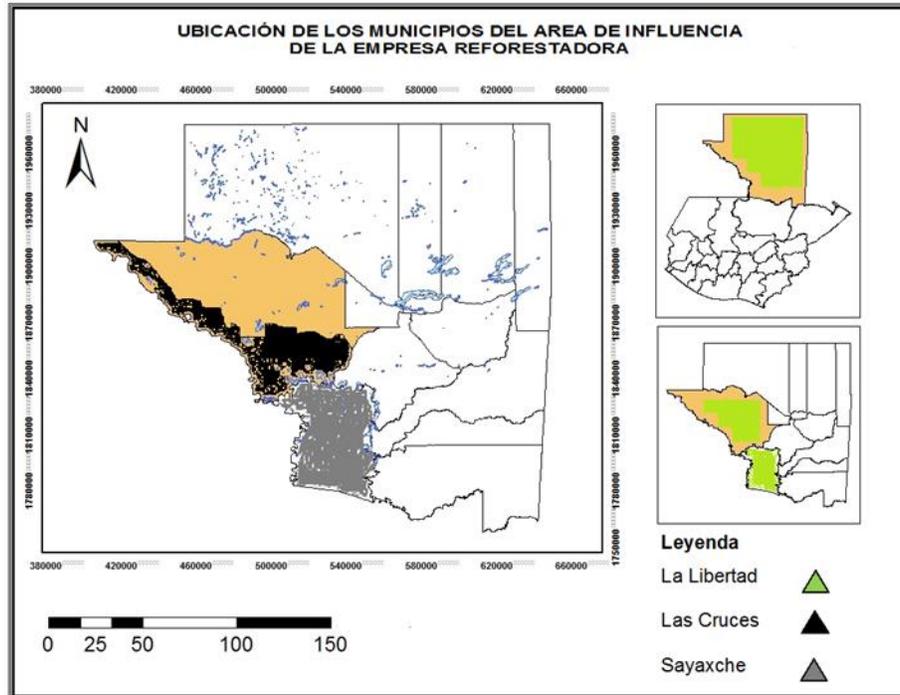


Figura 1. Ubicación de los municipios de La Libertad, Las Cruces y Sayaxche, Petén, Guatemala

### 2.2.2 Área de trabajo: municipios de La Libertad y Las Cruces

Las plantaciones evaluadas de teca (2013), se encuentran en los municipios de La Libertad y Las Cruces. Dicha empresa reforestadora tiene dividido en 4 sectores que son lo siguiente: Las Cruces, Cerritos, Sagrado Corazón y la Colorada. Las áreas de trabajo se encuentran a una altura promedio entre los 160 y 200 msnm, temperatura promedio anual entre 23-25 °C. La zona de vida predominante Bosque muy húmedo subtropical cálido Bmh-S(c). El área de trabajo administrativamente corresponde a la Región forestal VIII, departamento de Petén. Para el caso del Servicio Forestal, INAB, la Sub-Región encargada de la administración forestal es la que corresponde a la VIII-4.

La evaluación de las plantaciones de teca establecidas en el 2013 de 3 años de edad, se efectuó en el sector de Las Cruces, que abarca los municipios de La Libertad y Las Cruces. Para acceder al municipio de Las Cruces, de la cabecera departamental, Flores, Petén, se conduce por carretera asfaltada hacia el municipio de La Libertad (38 km

aproximadamente), posteriormente se dirige hacia la ruta que conduce a Sayaxche, desviándose en la comunidad de El Subín, hacia el centro poblado de Las Cruces. De allí se conduce por la ruta hacia Betel, aproximadamente 12 km hasta llegar al área de las plantaciones de teca.

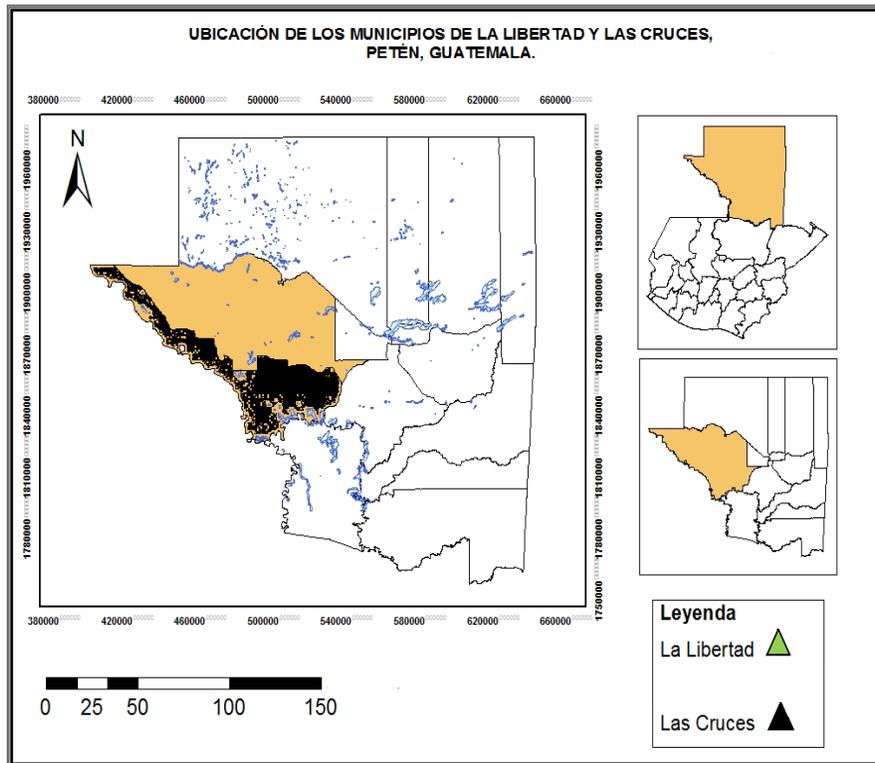


Figura 2. Mapa de ubicación de las fincas plantadas con teca por la empresa administradora

### 2.2.3 Comunidades de influencia del área de estudio

Las comunidades vecinas del área de estudio que pertenece al sector de Las Cruces, podemos mencionar La Nueva, El Buen Samaritano, Palestina, Tierra Linda y Josefinos, dichas comunidades pertenecen a los Municipios de La Libertad y Las Cruces.

### 2.2.4 Estructura administrativa, roles y oficinas de la empresa

Para la administración del patrimonio, la empresa reforestadora cuenta con una estructura organizativa, la que se presenta en el anexo 10.5. Actualmente la empresa

cuenta con 2 oficinas, la central ubicada en Santa Elena De La Cruz, municipio de Flores y la oficina técnica ubicada en la comunidad de Josefinos, municipio de Las Cruces, departamento de Petén.

#### **a. Organización**

La organización de la empresa está constituida por varios departamentos como una unidad funcional para todas las actividades que se realizan, a continuación, se detallan los departamentos que lo conforman:

- **Unidad de investigación forestal:** esta unidad tiene como objetivo de realizar ensayos y estudios de campo para mejorar la gestión forestal. Los resultados de estos estudios irán modificando las prácticas operacionales.
- **Unidad de mensura forestal y cartografía:** esta unidad tiene como finalidad de evaluar el patrimonio, con fines de planificación y evaluación del estado actual de las plantaciones forestales.
- **Unidad de auditoría y control:** se realizan auditorías internas a las empresas de servicio. Estas auditorías buscan verificar el cumplimiento legal de las operaciones, así como los estándares de seguridad y ambientales definidos en los procedimientos de trabajo. Estas auditorías son el pilar que permite el mejoramiento continuo de las empresas de servicio y de las operaciones forestales en general.
- **Sistema de protección contra incendios:** el riesgo a las plantaciones del patrimonio lo constituyen los incendios forestales. Siendo la causa principal, la quema de desechos agrícolas y de praderas naturales, por parte de los vecinos a las fincas. Las principales medidas o acciones dirigidas a prevenir el riesgo y peligro de incendios forestales, son las siguientes: relaciones con la comunidad, uso del fuego, educación y manejo de combustibles.

A continuación, se detallan algunos datos importantes de la empresa reforestadora donde se efectuó la práctica.

### **b. Antecedentes de la empresa**

La Empresa Reforestadora desde el año 2004 ha generado más de 2,000 puestos de trabajo en el departamento de Petén, posee 158.06 ha de bosques de alto valor de conservación (BAVC), han rehabilitado más de 100 km de carreteras en distintas comunidades, han construido 3 pozos de agua para comunidades, además les proveen de agua a comunidades que en tiempo de verano no cuentan con el vital líquido.

### **c. Objetivo**

La empresa reforestadora persigue maximizar el valor presente neto de la inversión, en un horizonte de largo plazo, y sujeto a restricciones estratégicas, operacionales, ambientales, sociales, de abastecimiento de mercados y de flujos de caja. Este manejo se encuentra enmarcado dentro de la legislación existente y en un contexto de respeto y armonía con el medio ambiente natural y social.

### **d. Función de la empresa reforestadora**

Administrar el patrimonio forestal, gestionando los asuntos relacionados con la adquisición de fincas, establecimiento de plantaciones, su manejo y comercialización de productos forestales. La organización de la empresa está constituida por varios departamentos como una unidad funcional para todas las actividades que se realizan.

### **e. Estrategia de relacionamiento comunitario**

La organización ha establecido una estrategia de relacionamiento, la cual contempla los siguientes pasos:

- **Canales de comunicación:** los guardabosques son las personas que principalmente mantienen el contacto diario con vecinos y comunidades; toda comunicación hacia y desde los vecinos debe pasar por el guardabosque.
- **Impacto negativo cero:** la organización planifica y ejecuta las operaciones forestales de modo de no causar impactos negativos importantes a los vecinos; todos los impactos negativos son gestionados de modo que las molestias sean mínimas.

- **Acciones de beneficio mutuo:** se acuerdan con vecinos acciones que generen beneficios para ambas partes, se destaca en este ámbito el apoyo que ha dado la organización a la realización de quemas controladas en propiedad de los vecinos; de este modo se han evitado incendios sin control, que han causado históricamente cuantiosos daños, tanto a la empresa como a otros vecinos.
- **Apoyo al desarrollo local:** la organización apoya el desarrollo de las comunidades vecinas a través de programas específicos y requeridos por alguna comunidad.

#### **f. Política forestal de la empresa**

La empresa reconoce como factores fundamentales dentro del desarrollo de todas y cada una de sus operaciones, los siguientes:

- Velar por el cumplimiento de la legislación nacional vigente aplicable a las operaciones forestales, tanto general, como ambiental, social y de seguridad.
- Mejorar la rentabilidad del negocio a través de buenas prácticas forestales que sean económicamente viables, ambientalmente amigables y socialmente responsables.
- Procurar condiciones de trabajo seguras para todos sus colaboradores.
- Evitar o minimizar los impactos ambientales adversos significativos.
- Promover buenas relaciones con la comunidad y públicos de interés.
- Promover el desarrollo local sostenible.
- Promover la contratación de mano de obra local, que cumpla con las competencias requeridas para las actividades forestales.
- Adoptar principios y criterios de manejo forestal internacionalmente reconocidos, tomando como referencia los estándares del ForestStewardship Council –FSC-.

### **3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA – JUSTIFICACION**

En Guatemala, Centro América y Sudamérica, el cultivo de teca (*Tectona grandis* L.f.) ocupa un lugar privilegiado importante dentro del sector forestal, existiendo sitios adecuados para el buen crecimiento de dicha especie, contando con una creciente demanda internacional.

Para Guatemala la teca, es una de las más plantadas en el país de acuerdo a la base de datos del Programa de Incentivos Forestales -PINFOR- desde el año 1997 hasta el 2013 se han registrado un total de 18,222.36 hectáreas plantadas con teca ya que el 49% de las plantaciones incentivadas de esta especie se encuentran establecidas en el departamento de Petén. La teca es una especie comercial de alta rentabilidad, con potencial crecimiento y productividad, ya que existen estudios respecto a su crecimiento, por tal razón es importante evaluar el crecimiento y productividad de dicha especie en diferentes zonas del país.

En el departamento de Petén al norte de Guatemala se encuentra la empresa reforestadora que administra varias fincas con plantaciones de teca; las cuales tienen diversos usos, siendo el principal la superficie plantada con fines industriales. La empresa tiene la necesidad de contratar personal con amplio conocimiento en materia forestal con el objetivo de fortalecer el manejo silvícola de dichas plantaciones forestales, donde se necesita evaluar las plantaciones y estimar la dinámica de crecimiento, establecer y medir ensayos experimentales de investigación aplicada y estudios de campo, así como el control y evaluación de las actividades silvícolas de acuerdo lo que establece el plan de manejo aprobado para las plantaciones forestales.

La empresa requiere de forma anual una evaluación del estado actual de las plantaciones según su edad, para cuantificar que el proyecto está creciendo en función de la proyección de crecimiento establecido y hacer comparaciones con datos de crecimientos encontrados en otras regiones del país y así lograr los objetivos de la misma.

La empresa forestal cuenta con plantaciones de teca de varias edades, y para este estudio, se tomó en cuenta las plantaciones que se establecieron el año 2013. La finalidad de este estudio y la importancia para la empresa, es contar con información actualizada del estado actual del volumen de crecimiento y la productividad de las plantaciones, por esa razón se planifico e implemento la medición en campo de inventarios forestales en base de parcelas de muestreos, que permitió efectuar un análisis de los resultados, partiendo de variables dasométricas y de calidad, así mismo se determinó estado actual de las plantaciones de dicha edad.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el volumen actual y la calidad de las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 3 años de edad, establecidas en 4 fincas del municipio de Las Cruces, Petén.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los distintos estratos en plantaciones de Teca de 3 años de edad en las fincas objeto a estudio, en Las Cruces, Petén.
- Realizar un inventario forestal en las áreas establecidas con plantaciones de teca de 3 años de edad, en el área de estudio.
- Analizar el crecimiento y productividad, con base al incremento medio anual de los diferentes rodales a evaluar en las fincas bajo estudio.
- Evaluar la calidad de los árboles en pie de las plantaciones sujetos a estudio.

## 5. PLAN DE TRABAJO

### 5.1 PROGRAMA DESARROLLADO

El estudio que se realizó durante la práctica profesional supervisada, evaluando el volumen actual y la calidad de las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 3 años de edad, establecidas el 2013 en 4 fincas; 2 en el municipio de Las Cruces y 2 en el municipio de La Libertad. Para dicha evaluación se realizaron cuatro actividades para cumplir los objetivos de la investigación y de la empresa; los cuales fueron: 1) Establecer los distintos estratos en plantaciones de teca dentro de cada finca, 2) Realizar un inventario forestal en las áreas establecidas con plantaciones de teca, 3) Analizar el crecimiento y productividad, en base al incremento medio anual de los diferentes rodales evaluados en las fincas, 4) Evaluar la calidad de los árboles en pie de las plantaciones que fueron sujetos a estudio. A continuación, se detallan las cuatro actividades:

#### 5.1.1 Establecimiento de estratos en plantaciones de teca, (Objetivo 1)

Para poder prescribir el manejo de una plantación de forma adecuada, es necesario estratificar la población según sea el uso o el crecimiento de la plantación, conociendo el área y la división de las fincas, diferenciando los usos (plantación, bosque natural, área de anegamiento, área de restauración, rondas o piedra). Esta información fue proporcionada por la empresa reforestadora, en conjunto con los mapas del uso de las cuatro fincas evaluadas. De acuerdo a los datos obtenidos, es importante mencionar los siguientes aspectos:

##### a) Área de las fincas

Por medio de los datos proporcionados por la empresa se conoció el total del área de las cuatro fincas evaluadas (cuadro 6), dentro de las cuales se encuentra como una de las clases de uso las plantaciones de teca de 3 años de edad. En base a esta información, se estimó el área de intervención de la investigación, que se utilizó de base para estratificar el uso de cada finca.

Cuadro 6. Nombre de fincas, área total con plantaciones de teca y otros usos, evaluados en dicho estudio

No. de finca	Nombre	Área total (ha)
1	120	25.35
2	123	52.83
3	135	50.51
4	138	45.90

**b) Validación de datos por fincas**

De acuerdo a los datos proporcionados por la empresa, se procedió a corroborar en campo los diferentes usos que se identifican en los mapas, con la finalidad de definir las diferencias que se muestran en las imágenes de satélite (Rapideye), principalmente en las plantaciones. La validación de datos se hizo en base a recorridos de campo por medio de mapas con ayuda de una aplicación de lectura de mapas en formato PDF (PDF Maps) en un teléfono digital.

**c) Mapas de las fincas**

Por medio del departamento de cartografía, utilizando un Software especializado (ArcGis), se generaron los mapas para diferenciar el área de cada uso actual y los mapas con la referencia de las imágenes de satélite de las fincas. Con estos mapas, se logró observar desde otra perspectiva el uso actual y la estratificación de las plantaciones forestales dentro de las fincas. Así mismo, el mapa sirvió para definir el número de parcelas e intensidad de muestreo a implementar, la distancia entre parcelas y otra información base para el levantamiento de información de inventarios.

**d) Estratificación de plantación por fincas**

En base a los mapas con imágenes de satélite (Rapideye) de las fincas, se observó que en una de las fincas, es necesario estratificar el área de plantación, corroborando en campo dicha diferencias de crecimiento en áreas donde se marcan diferencias en el mapa. En base a esto, se determinó que es necesario

estratificar la plantación, basándose en el crecimiento y la densidad de árboles. El objetivo de la estratificación es tener una mejor evaluación de crecimiento de las plantaciones de teca y separar las unidades de muestreo del inventario forestal, para luego planificar el manejo en base a estas diferencias.

### **5.1.2 Inventario forestal, (Objetivo 2)**

Para la obtención de datos del inventario de las diferentes fincas con plantaciones, se realizaron las siguientes actividades desde la parte de gabinete hasta la obtención de datos de campo, y así mismo se procedió a validar la información obtenida para conocer el estado de crecimiento de las plantaciones.

**Planificación del inventario:** A continuación, se detalla las fases realizadas del Inventario Forestal, basando el diseño del inventario en función al requerimiento de la empresa, para lograr los errores de muestreo permisibles.

#### **a) Materiales y equipos**

Para acceder a las plantaciones se contó con todo el equipo y los materiales necesario para realizar el inventario, tomando en cuenta que es importante contar con el equipo de protección personal, por cualquier tipo de incidente.

- Equipo de protección personal: Chaleco reflectivo, polainas, casco de plástico de seguridad, botiquín.
- Equipo de medición forestal: hipsómetro Suunto, cinta métrica, cinta diamétrica y teléfono digital.
- Materiales: Boleta de campo, lápiz, mapas de las fincas, lazo de 9.77 m (radio de la parcela) y 15 m (distancia del árbol al observador para medir altura).

#### **b) Tamaño de la muestra**

Para poder definir el tamaño de la muestra de la investigación, se basó con la metodología de la empresa reforestadora, tomando en cuenta que la intensidad de muestreo es de 0.75%. La fórmula utilizada para determinar el tamaño de la muestra fue la siguiente:

$$Am = AT * (I.M./100)$$

$$n = Am/Tp$$

**Donde:**

I.M	=	intensidad de muestreo
AT	=	área total a evaluar en m <sup>2</sup>
Am	=	área de muestreo en m <sup>2</sup>
Tp	=	área de la parcela en m <sup>2</sup>
n	=	número de parcelas

**c) Diseño e intensidad de muestreo**

El diseño de muestreo que se utilizó para distribuir las parcelas fue de forma sistemático estratificado, esto con la finalidad de obtener una muestra más representativa de las áreas a intervenir. Tomando en cuenta que el diseño utilizado permite la división de la plantación en estratos o rodales con características homogéneas, ya que uno de los objetivos de la investigación es la estratificación de la plantación.

La distribución de las parcelas se realizó en fase de gabinete por el departamento de cartografía en función del área de las fincas, utilizando el software ArcGis, con una intensidad de muestreo de 0.75%, distribuyendo las parcelas a cada 4 hectáreas de acuerdo a la metodología de la empresa reforestadora. Para validar la información del inventario forestal, se tomó en cuenta un error de muestreo que se considera aceptable menor al 15%, en un inventario para masas forestales regulares (Error de muestreo recomendado en el documento “Lineamientos técnicos de manejo forestal sostenible” publicado por el INAB). El diseño de muestreo utilizado fue el “Estratificado con distribución sistemática de la muestra”. En el caso de las fincas que no presentan estratos se considera un único estrato.

En el cuadro 7 se presenta la cantidad de parcelas muestreadas para las fincas evaluadas, a partir de las cuales se estableció un número extra de parcelas para lograr el error de muestreo objetivo.

Cuadro 7. Numero de parcelas evaluadas por fincas

<b>Fincas</b>	<b>Nombre</b>	<b>Área plantada (ha)</b>	<b>No. de parcelas</b>
1	120	15.00	6
2	123	35.50	12
3	135	49.84	14
4	138	38.93	12

En el anexo 10.2, se presentan los mapas con imágenes satelitales de Rapideye de las fincas con la distribución de las parcelas evaluadas.

**d) Tamaño y forma de las parcelas**

De acuerdo a la metodología de inventario forestal utilizado por la empresa, el tamaño de las parcelas temporales establecidas en la investigación fue de 300 m<sup>2</sup>, de forma circular, con un radio de 9.77 m. Se eligen este tipo de parcelas, por tener el menor perímetro y ser representativas y adecuadas para establecerlas en dichas plantaciones de 3 años de edad.

**e) Localización de parcelas de muestreo**

Con ayuda de una aplicación en teléfono inteligente (PDF Maps), se ubicaron las parcelas en campo. Los mapas ingresados al teléfono son un archivo PDF con referencia obtenidos con el software ArcGis.

**f) Boleta de campo**

Esta toma en cuenta la obtención de variables cuantitativas y cualitativas de un inventario forestal en una plantación, se utilizó agregando otras variables de interés de la investigación realizada. En el anexo 1 se presenta la boleta utilizada en la evaluación de campo.

**g) Medición de variables cuantitativas y cualitativas de la plantación**

Para el levantamiento de datos de cada parcela se ubicó el centro de la misma identificándola con una estaca y nylon amarillo, para poder ser supervisada por la

empresa. Se anotaron las coordenadas métricas del centro de la parcela, para luego delimitar el área, lanzando un lazo graduado de 9.77 m (radio de la parcela de 300 m<sup>2</sup>). Definida la parcela, se identificaron los individuos que quedaron dentro de dicha área y luego se procedió a la toma de datos dasométricos. En cada finca evaluada con plantaciones forestales, se midieron y evaluaron las siguientes variables:

### **Cuantitativas**

- **DAP:** se midió el 100% de los diámetros de los árboles dentro de las parcelas, midiendo con una cinta diamétrica alrededor del fuste del árbol y asegurando de no estar torcida la cinta, midiendo a una altura de 1.30 m desde la base del fuste.

En la medición del diámetro encontramos algunos árboles que presentaban una deformación en el fuste (abultamiento, muñones o verticilo, etc.), procediendo en estos casos a medir por encima de la deformación o donde se consideró que el fuste tenga una forma normal, esto con la finalidad de no sobreestimar el diámetro de los árboles.

- **Altura total:** para la medición de alturas se utilizó el hipsómetro Suunto, midiendo 5 árboles representativos cercanos al centro de cada parcela muestreada.

La medición de altura del árbol se realizó desde la base a una distancia de 15 m, con un lazo graduado con dicha distancia, observando el ápice del árbol y la base, luego sumando las dos lecturas observadas en el Suunto para determinar la altura total del árbol. Esto debido a que las áreas muestreadas no presentan mayores pendientes, para la medición solo se procedía a sumar las dos lecturas observadas, quedando el punto cero sobre el fuste.

- **Altura comercial:** se tomaron en cuenta los 5 árboles medidos con altura total, ya que dicha variable se midió partiendo de la base del árbol hasta un diámetro mínimo utilizable de 5 cm, considerando también que el fuste este recto y se pueda utilizar como troza comercial.

### **Cualitativas**

- **Calidad de árboles:** para la evaluación de la calidad de los árboles se verifico en campo en cada parcela muestreada utilizando los códigos de forma y defecto del fuste establecidos por la metodología de MIRA-SILV® y la clasificación de calidades establecidas por la empresa reforestadora, especificando la metodología utilizada en el objetivo 4.

### **h) Análisis estadístico**

Para el análisis, se utilizó el programa Microsoft Excel (análisis de datos), en base a las mediciones de las variables cuantitativas realizadas en las diferentes fincas con plantaciones. El valor utilizado para validar la información recabada fue el error de muestreo en volumen, según lo establecido para masas regulares (bosques naturales de coníferas, mixtos y plantaciones forestales puras o de pocas especies) con valor menor o igual al 15% (EM), a un nivel de confianza del 95%. Las fórmulas utilizadas para el análisis estadístico se muestran en el anexo 10.4.

### **5.1.3 Análisis de crecimiento y productividad, (Objetivo 3)**

Para analizar el crecimiento y productividad de la plantación de cada una de las fincas, se evaluaron las siguientes variables: las variables silvícolas para analizar el crecimiento fueron el DAP -Diámetro a la altura del pecho- y la altura total; las variables silvícolas para analizar la productividad fueron área basal y volumen total, las que se determinaron con las dos siguientes formulas:

$$\text{Área basal (AB)} = \pi/4 * D^2$$

$$\text{Volumen total (V)} = AB * HT * FF.$$

**Donde:**

AB: área basal en metros cuadrados,

D: DAP en metros,

V: Volumen total en metros cúbicos,

HT: altura total en metros,

FF: factor de forma para la especie a la edad de 3 años.

Para determinar el volumen total de cada árbol se utilizó el factor de forma de 0.45, que es la forma de cuantificación de volumen total del fuste a partir del volumen de un cilindro. Este factor de forma, se utilizó tomando como referencia el sistema MIRASILV, para el cálculo de volumen total, además de ser el que se ha empleado en otras evaluaciones para esta especie en Guatemala y Centro América.

**a) Análisis del crecimiento**

Para el análisis de crecimiento se tomaron en cuenta los incrementos medios anuales, a partir de las variables: DAP en cm, altura total promedio en m.

**- Incremento medio anual en DAP en plantaciones de teca**

En base a los datos de los resultados de las mediciones realizadas en las diferentes fincas evaluadas, se obtuvo el DAP promedio por parcela, que posteriormente en función de la edad de la plantación, sirvió para estimar el incremento medio anual en DAP, expresado en cm/año. Para este cálculo, se utilizó la siguiente formula.

$$\text{IMA DAP} = \text{DAP} / \text{Edad}$$

**- Incremento medio anual en altura total en plantaciones de teca**

En base a los datos de los resultados de las mediciones realizadas en las diferentes fincas evaluadas, al igual que el DAP, se utilizó el promedio de la altura total, que posteriormente en función de la edad de la plantación se estimó el incremento medio anual en altura total, expresada en m/año. Para este cálculo, se utilizó la siguiente formula:

$$\text{IMA HTOT} = \text{HT} / \text{Edad}$$

#### **b) Análisis de la productividad**

Para el análisis de la productividad se tomaron en cuenta las variables: área basal expresada en m<sup>2</sup>/ha y volumen total expresado en m<sup>3</sup>/ha.

##### **- Incremento medio anual en área basal de las plantaciones de teca**

En base a los datos de los resultados de las mediciones realizadas por parcela, se tomó el valor acumulado de área basal, expresado en m<sup>2</sup>/ha, a partir del cual se estimó tomando de referencia la edad de la plantación el IMA en AB. La variable de incremento medio anual de área basal, se expresa en m<sup>2</sup>/ha/año, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{IMA AB} = \text{AB} / \text{Edad}$$

##### **- Productividad en incremento medio anual en volumen**

En base a los datos de los resultados de las mediciones realizadas para todos los árboles de la parcela, se tomó el valor acumulado del volumen, expresándolo en m<sup>3</sup>/ha, de las diferentes fincas, a partir del cual se estimó el IMA en volumen total, tomando de referencia la edad de la plantación. La dimensional utilizada para esta variable es m<sup>3</sup>/ha/año, estimada a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{IMA VOLTOT} = \text{Volumen total} / \text{Edad}$$

#### **5.1.4 Evaluación de la calidad de los árboles en pie de las plantaciones, (Objetivo 4)**

Luego de haber analizados las variables cuantitativas se evaluaron las variables cualitativas (Defecto de fuste, forma y su posición de la copa) dentro de las fincas evaluadas, ya que es importante evaluar la calidad de los árboles dentro de la plantación.

Para la evaluación de las variables cualitativas de la plantación, se le asignó un código a cada variable de acuerdo a su defecto (evaluando cada árbol), en base a la propuesta incluida en el sistema MIRA-SILV®, como forma y defecto de fuste, presentando en el cuadro 8 un resumen de estas clases y códigos. Luego se analizó la información, utilizando una hoja de cálculo del programa Excel, donde se ingresaron los datos de las variables, calificándose árbol por árbol y asignándole un porcentaje.

El sistema tiene como objetivo principal, apoyar a la investigación forestal en relación al seguimiento del crecimiento de los árboles en programas de reforestación y en diferentes sistemas de producción forestal, agroforestal y silvopastoril.

**- Códigos de forma y defectos del fuste**

Por medio de los códigos de forma y defectos del fuste se evaluó las características físicas de los árboles como el estado de la copa, el fuste y la forma general, evaluando las plantaciones de cada finca bajo estudio.

Esta clasificación es importante de evaluar, para verificar la calidad de la plantación y así dejar dentro de esta los árboles prometedores para la corta final y de esta forma indirecta tener la inferencia de la calidad del volumen maderable existente dentro de la plantación.

Cuadro 8. Códigos de forma y defecto de fuste evaluados en las plantaciones de teca

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
2	Poco sinuoso
4	Torcedura basal
5	Bifurcado
A	Tallo quebrado con recuperación
L	Ejes rectos y sin defecto de forma

- **Clasificación del árbol según la posición de la copa**

Se evaluó cuatro posiciones de los árboles según la posición de la copa dentro del bosque, con relación al dosel general y altura, clasificando cada árbol dentro de la plantación de acuerdo al cuadro 9.

Cuadro 9. Clasificación del árbol según la posición de la copa

<b>Tamaño relativo (Posición)</b>	<b>Descripción</b>
<b>Dominantes</b>	Las copas reciben luz directa por arriba y por los lados.
<b>Codominantes</b>	Las copas reciben luz directa por arriba, pero poco de los lados.
<b>Intermedios</b>	Reciben luz directa, escasa desde arriba y ninguna de los lados.
<b>Suprimidos</b>	No reciben luz ni de arriba ni de los lados.

Esta evaluación tiene como objetivo determinar el potencial de producción de madera a partir de los mejores individuos para la corta final y así mismo tener la proporción de cada clase de árboles para la prescripción de actividades silvícolas como raleos y podas.

### **5.1.5 Otras actividades**

Durante la realización de la práctica profesional supervisada se realizaron las siguientes actividades requeridas por la empresa, apoyando a otros departamentos como lo es el Departamento de Cartografía y Mensura Forestal, Departamento de Investigación y Desarrollo Forestal y el Departamento de Protección Forestal, en diferentes fincas administradas por la empresa reforestadora, por tal razón se desglosa las siguientes actividades realizadas durante el periodo de la práctica.

- Se realizaron mediciones de variables directas e indirectas en ensayo de poda y raleos en plantaciones 2007 y 2010, bajo distintos tratamientos, para determinar bajo cuál de los tratamientos presenta un mejor desarrollo.

- Mediciones de variables directas e indirectas en las fincas que administra la empresa reforestadora, con la finalidad de elaborar los inventarios de cada finca y determinar el estado actual de la misma.
- Levantamiento parcelas de muestreo de 100m<sup>2</sup> sobre plagas (Hiblaea) en plantaciones establecidos en el año 2012, esto con la finalidad de hacer una proyección de cuantas plantas y el área afectado.
- Realización de muestreo de calidad de siembra y la calidad de la planta utilizando parcelas de muestreo de 300 m<sup>2</sup> en la finca 1 y 28, con el objetivo de determinar la sobrevivencia inicial y la calidad de las plantas.
- Supervisión a trabajadores de contratista en el momento de la siembra, corroborando si están sembrando a la distancia establecida entre plantas y la calidad de la siembra que se está haciendo.
- Medición de ensayo en plantación de teca con asocio de maíz (sistema taungya), en plantaciones de 1 año de edad y plantaciones de año 0.
- Medición de variables directas en ensayo de riego en la finca 113 con plantaciones de teca establecidas en el año 2013.

## **5.2 INDICADORES DE RESULTADO**

Los indicadores sirvieron para verificar el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, realizada en la práctica profesional y así obtener resultados precisos. A continuación, se listan los indicadores abordar en la investigación:

1. Mapeo de los distintos rodales objeto de la evaluación a sistematizar, dentro de las fincas plantadas con teca.

2. Diseño del inventario forestal, en función al requerimiento de la empresa, para lograr los errores de muestreo permisibles por la empresa.
3. Levantado de la información en campo, mediante parcelas de 300 m<sup>2</sup>, de forma circular, temporales de inventario forestal, para obtener las variables dasométricas.
4. Intensidad de muestreo a utilizar según la empresa Reforestadora.
5. Análisis estadístico de los resultados del volumen total por finca y preparación de cuadros y tablas de rodal.
6. Cuantificación del volumen por rodal y finca de las plantaciones evaluadas.
7. Calidad de los árboles utilizando variables del sistema Mirasilv®.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el presente estudio, se obtuvieron diferentes datos de las cuatro fincas evaluadas, acorde a los objetivos planteados al inicio de la investigación. Con la finalidad de presentar de mejor forma los resultados, a continuación, se presentan por cada objetivo.

### 6.1 ESTRATOS DE USO EN PLANTACIONES DE TECA

Después de ser analizados los datos proporcionados por la empresa y corroborada la existencia de los diferentes usos dentro de las fincas, se presentan los resultados separando los usos y la estratificación.

#### 6.1.1 Uso actual de las fincas evaluadas

En las fincas evaluadas, se encontraron en total 6 tipos de uso, predominando el uso de Plantaciones Forestales, las cuales fueron establecidas en diferentes años. En el cuadro 10 se presenta el resumen de los diferentes usos encontrados por cada finca.

Cuadro 10. Resumen del uso actual de las cuatro fincas evaluadas

Fincas	Tipos de uso (ha)						Área total (ha)
	Plantación	Bosque natural	Área de restauración ecológica	Área de Anegación	Caminos	Piedra	
<b>120</b>	15.00		9.65	0.16	0.54		<b>25.35</b>
<b>123</b>	35.50		16.21	0.01	1.04	0.07	<b>52.83</b>
<b>135</b>	49.84			0.08	0.21	0.38	<b>50.51</b>
<b>138</b>	38.93	3.58	1.10	0.46	0.83	1.00	<b>45.90</b>
<b>Total:</b>	<b>139.27</b>	<b>3.58</b>	<b>26.96</b>	<b>0.71</b>	<b>2.62</b>	<b>1.45</b>	<b>174.59</b>

En el anexo 10.3 se presentan los mapas de cada finca con el respectivo uso identificadas en la evaluación.

El uso que predomina en las fincas es el de plantaciones forestales, con un 79.8% del total del área de las fincas, que equivalen a 139.27 ha. Las superficies destinadas a protección están compuestas por dos tipos de uso, siendo estas el 2.1% el área de bosque natural, que se observó en la finca 138, siendo la única finca con este uso, y áreas de restauración ecológica con el 15.4% del área total de las fincas. En la figura 3, se presenta el gráfico general de los tipos de uso en las 4 fincas evaluadas.

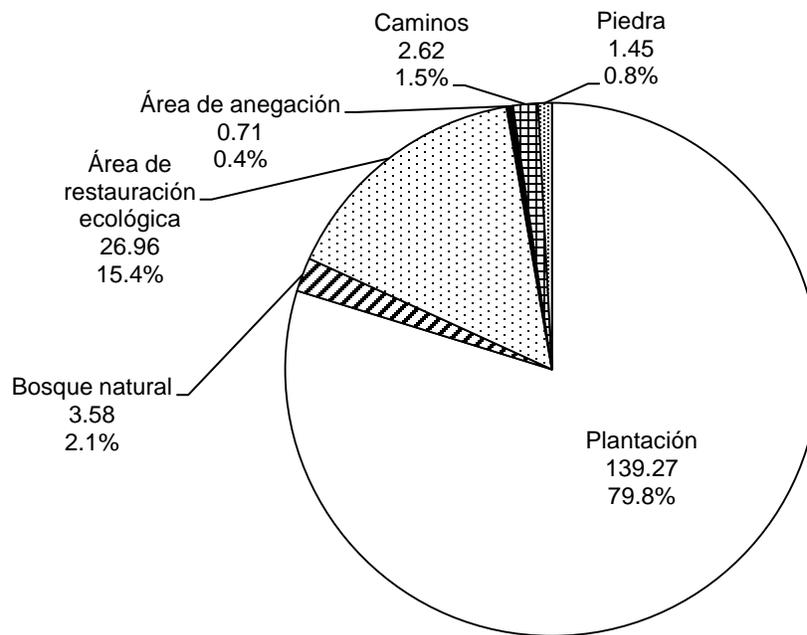


Figura 3. Tipos de uso de las fincas evaluadas en la práctica profesional supervisada

Analizando el área total de las fincas, se determina que el área es adecuada para las plantaciones forestales siendo la que predomina en el área, así mismo obteniendo buenos resultados sobre su crecimiento de la especie plantada (resultado del objetivo 3).

### 6.1.2 Estratificación de la plantación de las fincas

Para la estratificación de la plantación se utilizó imágenes de satélite Rapideye en las diferentes fincas. Se determinó que los diferentes colores en los mapas muestran que existe una diferencia en el área de plantación, tomando en cuenta que en algunas plantaciones hay presencia de maleza reflejando en el mapa.

La estratificación de las plantaciones se implementó en una finca (123), mostrando que, si existe diferencias en crecimiento y densidad de árboles, así mismo como en los resultados del inventario y lo observado en campo. La plantación forestal de la finca 123, quedó dividida en dos estratos, en el cuadro 11 se observa la estratificación de la finca.

Las fincas que no mostraron diferencias en cuanto a su crecimiento, basados en el análisis de las imágenes de satélite y los recorridos en campo, fueron la 120, 135 y 138, mostrando homogeneidad en sus características, habiendo algunas diferencias en cuanto su crecimiento, pero no son significativas como para estratificar la plantación, basándose en la interpretación de colores de la imagen.

Cuadro 11. Estratificación de la plantación de la finca 123

<b>Estratos de la plantación (ha)</b>			
<b>Finca</b>	<b>Estrato I</b>	<b>Estrato II</b>	<b>Total</b>
<b>123</b>	18.83	16.67	<b>35.50</b>

De acuerdo a la estratificación de dicha finca se observa que 18.83 ha del área total de la plantación presenta un crecimiento homogéneo estando la plantación en el sitio adecuado, mientras que 16.67 ha de la plantación presenta un bajo crecimiento, esto significa que dicha plantación se encuentra en área húmeda o con presencia de pedregosidad, según el uso observado de dicha finca en los recorridos de campo. Esta es una característica importante que es fácil de identificar mediante las imágenes y facilita la división de los estratos en campo.

## **6.2 INVENTARIO FORESTAL DE LAS PLANTACIONES**

Para la validación de los inventarios de las fincas, evaluados durante la práctica profesional, se obtuvieron los siguientes resultados en base al análisis estadístico, verificando que el Error de Muestro Relativo – EM%- sea aceptable desde el punto de vista estadístico.

### 6.2.1 Análisis estadísticos de las fincas evaluadas

De las cuatro fincas evaluadas se analizaron los resultados estadísticos principalmente el EM% comparando con lo establecido por la empresa operadora (menor o igual al 10%), basados principalmente en variables individuales promedio de las parcelas, siendo estas DAP y altura total. Para el caso del presente análisis se decidió trabajar con el 15% de EM, basado en volumen, a un nivel de confianza del 95%, para poder validar el inventario, ya que dicho error es aceptable para masas forestales regulares.

Se encontró únicamente 1 estrato en las fincas 120, 135 y 138; y 2 estratos en la finca 123. En el cuadro 12 y 13 se muestran los resultados del análisis de las fincas evaluadas.

Cuadro 12. Resumen de análisis estadístico de las fincas 120, 135 y 138

	Nombre de fincas		
	120	135	138
<b>Edad de plantación</b>	3	3	3
<b>Área (ha)</b>	15	49.84	38.93
<b>No. parcelas</b>	12	14	12
<b>Media</b>	47.71	43.77	53.2
<b>Desviación estándar</b>	10.22	10.38	8.2
<b>Varianza</b>	104.43	107.81	67.2
<b>Error estándar</b>	2.95	2.77	2.4
<b>Coefficiente de variación</b>	21.42	23.72	15.4
<b>Error de muestreo</b>	6.49	5.99	5.2
<b>Error de muestreo (%)</b>	13.61	13.7	9.8
<b>Límite inferior</b>	54.2	49.77	58.4
<b>Límite superior</b>	41.22	37.78	47.9

Tomando en cuenta que el error establecido para validar los inventarios de las cuatro fincas es el 15% como valor máximo, se encontró que la finca 120 tenía un error de 24.8%, por arriba de lo establecido, partiendo de la intensidad de 1 parcela por cada 4 ha. Para esta finca se procedió a reducir el error por debajo lo deseado, calculando “n”

ideal, siendo necesario para este caso un total de 12 unidades de muestreo (parcelas), completando en campo las faltantes y alcanzando un error adecuado después de la medición de las parcelas faltantes (13.61%).

El error elevado al inicio en la finca 120, es causa de la heterogeneidad de la plantación, reflejando un bajo desarrollo en algunas partes en el sitio evaluado, pero no teniendo una sistemática que permitiera estratificar la finca. En base al resultado de “n” ideal se logró el error deseado como se muestra en el cuadro anterior.

Los resultados del análisis de las fincas de un solo estrato, se observan en el cuadro anterior que la finca 138 presenta una mayor homogeneidad en la plantación, siendo reflejado en cuanto al coeficiente de variación que es menor, esto significa que no existe un rango mayor en cuanto a la variabilidad de los datos de la plantación, mientras que la finca 120 y 135 el coeficiente de variación es mayor que la finca 138, ya que existe variabilidad en los datos en cuanto a su crecimiento, pero a la vez no siendo significativos como para tomar una decisión en cuanto al análisis por estratos.

La estratificación de la finca 123 se realizó en base del análisis estadístico, reflejando que el coeficiente de variación de dicha finca es bastante alto si no se estratifica, siendo 41.73%, esto refleja que existe mucha variabilidad en cuanto a los datos de la plantación, que por consiguiente es difícil lograr el EM% deseado. En base a estos resultados, se procedió a estratificar dicha finca, quedando en 2 estratos (Cuadro 13).

Al efectuar el análisis estadístico por separado para cada estrato, se logra ver la homogeneidad en cada estrato, pudiendo comparar el estrato I con un coeficiente de variación de 16.15%, y el estrato II con un coeficiente de variación de 11.0%. Las principales diferencias mostradas entre estos dos estratos, es el crecimiento mostrando el estrato I mayor crecimiento que el estrato II, por los volúmenes promedios encontrados de 67.83 y 25.3 m<sup>3</sup>/ha respectivamente.

Cuadro 13. Resumen de análisis estadístico de la finca 123 por estrato

	Finca 123	
	Estrato 1	Estrato 2
<b>Edad de plantación</b>	3	3
<b>Área (ha)</b>	18.83	16.67
<b>No. Parcelas</b>	10.00	5.0
<b>Media</b>	67.83	25.3
<b>Desviación estándar</b>	10.95	2.8
<b>Varianza</b>	119.99	7.7
<b>Error estándar</b>	3.46	1.2
<b>Coefficiente de variación</b>	16.15	11.0
<b>Error de muestreo</b>	7.84	3.5
<b>Error de muestreo (%)</b>	11.55	13.7
<b>Límite inferior</b>	75.66	28.7
<b>Límite superior</b>	59.99	21.8

### 6.2.2 Resumen de inventarios de fincas evaluadas

En base a los resultados obtenidos en campo se diseñaron las siguientes tablas de rodal de las fincas evaluadas, ya que en dichas tablas muestran el estado actual de las plantaciones de teca, obteniendo resultados de las siguientes variables; frecuencia, área basal y el volumen total de dichas fincas.

#### A. Resumen de inventario forestal finca 120

Validando la información del inventario forestal para esta finca, con un EM% del 13.61%, se estima un volumen total de 47.71 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 9.44 m<sup>2</sup>/ha, con una densidad de 494 árboles/ha y con un volumen total de 715.61 m<sup>3</sup>/rodal (Cuadro 14).

Para la clase diametral que presenta un mayor volumen en la plantación están en los rangos de 15-16, con el 36.5% de los árboles/ha, que presentan un volumen de 18.23 m<sup>3</sup>/ha, con un área basal de 3.62 m<sup>2</sup>/ha y el total del volumen 273.38 m<sup>3</sup>/rodal, esto

representa el 38.2% del volumen total de la plantación. En la figura 4 se muestra la estructura del rodal, donde se observa claramente que después de esta clase diametral esta la mayor parte de la población de árboles y volumen.

Cuadro 14. Tabla de rodal de la finca 120

Clase diametral	Hectárea			Rodal			%	
	N	G	V	N	G	V	F	V
5 - 6	6	0.01	0.04	83	0.18	0.58	1.1	0.1
7 - 8	11	0.06	0.23	167	0.91	3.38	2.2	0.5
9 - 10	25	0.19	0.79	375	2.90	11.91	5.1	1.7
11 - 12	39	0.42	1.93	583	6.29	28.95	7.9	4.0
13 - 14	81	1.21	5.61	1208	18.15	84.08	16.3	11.7
15 - 16	181	3.62	18.23	2708	54.30	273.38	36.5	38.2
17 - 18	119	2.96	15.60	1792	44.47	233.99	24.2	32.7
19 - 20	33	0.96	5.29	500	14.43	79.34	6.7	11.1
<b>TOTAL</b>	<b>494</b>	<b>9.44</b>	<b>47.71</b>	<b>7417</b>	<b>141.62</b>	<b>715.61</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Nota:** N = número de árboles, G = área basal en m<sup>2</sup>; V = volumen total en m<sup>3</sup>

Otra de las clases diametrales que dominan en la plantación está en el rango de 17-18, con el 24.2% de los árboles/ha, que presentan un volumen de 15.60 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 2.96 m<sup>2</sup>/ha y el total del área con 233.99m<sup>3</sup>/rodal, esto representa el 32.7% del volumen total de la plantación.

Para la clase diametral con menor dominancia están los siguientes rangos desde 5 hasta 12, que pueden considerarse suprimidos, con alrededor del 16% de los árboles/ha y cerca del 5% del volumen total. Para el manejo de la plantación estos árboles no tienen ninguna posibilidad de aportar a la producción del rodal, y pueda que no estén compitiendo ya con los codominantes y dominantes.

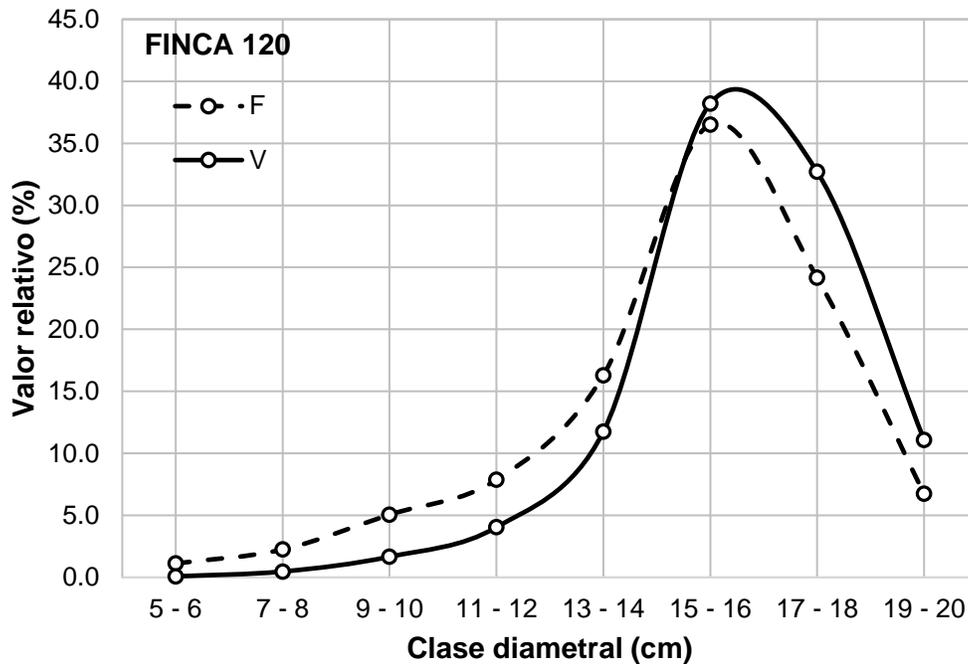


Figura 4. Estructura del rodal de plantación de teca de la finca 120

Es importante basarse en la estructura del rodal para la planificación de los raleos en estas fincas, que requieren aún un raleo por lo bajo el cual no aportará producto para la venta, por las dimensiones bajas que tiene actualmente y que no estarán creciendo para pensar en esperar y mantener estos árboles.

### B. Resumen de inventario de la finca 123 por estrato

Para la finca se generaron dos tablas de rodal, ya que el total de la plantación se evaluó en dos estratos quedando de la siguiente manera (ver cuadro 15 y 16).

#### a) Estrato I

Para la obtención de datos del inventario de la plantación del estrato I se tuvo un EM% del 11.55% presentando un buen muestreo, obteniendo un volumen de 67.68 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 12.14 m<sup>2</sup>/ha, con una densidad de 607 árboles/ha y con un volumen total de 1274.44 m<sup>3</sup>/rodal (Cuadro 15).

Cuadro 15. Tabla de rodal del estrato I de la finca 123

Clase diametral	Hectárea			Rodal			%	
	N	G	V	N	G	V	F	V
5 - 6	3	0.01	0.04	63	0.21	0.71	0.5	0.1
7 - 8	13	0.07	0.29	251	1.28	5.52	2.2	0.4
9 - 10	40	0.31	1.42	753	5.92	26.81	6.6	2.1
11 - 12	57	0.67	3.31	1067	12.67	62.29	9.3	4.9
13 - 14	93	1.43	7.33	1757	27.00	138.07	15.4	10.8
15 - 16	153	3.10	17.00	2887	58.36	320.15	25.3	25.1
17 - 18	183	4.61	26.75	3452	86.86	503.79	30.2	39.5
19 - 20	60	1.80	10.70	1130	33.99	201.45	9.9	15.8
21 - 22	3	0.13	0.83	63	2.36	15.65	0.5	1.2
<b>Totales</b>	<b>607</b>	<b>12.14</b>	<b>67.68</b>	<b>11424</b>	<b>228.65</b>	<b>1274.44</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Nota:** N = número de árboles, G = área basal en m<sup>2</sup>; V = volumen total en m<sup>3</sup>

La clase diametral que presenta un mayor volumen en el estrato se encuentra en el rango de 17-18, con el 30.2% de los árboles/ha, representando un volumen de 26.75 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 4.61 m<sup>2</sup>/ha y con un volumen total de 503.79 m<sup>3</sup>/rodal. Dicho rango representa el 39.5% del volumen total del estrato, como se observa en la figura 5, siendo una de las clases diametrales que domina en la plantación.

Otra de las clases diametrales que también dominan en la plantación, se encuentra en el rango de 15-16, con el 25.10% de los árboles/ha, esto representa un volumen de 17 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 3.10 m<sup>2</sup>/ha y con un volumen total de 320.15 m<sup>3</sup>/ha. Dicho rango representa el 25.10% del volumen total del estrato.

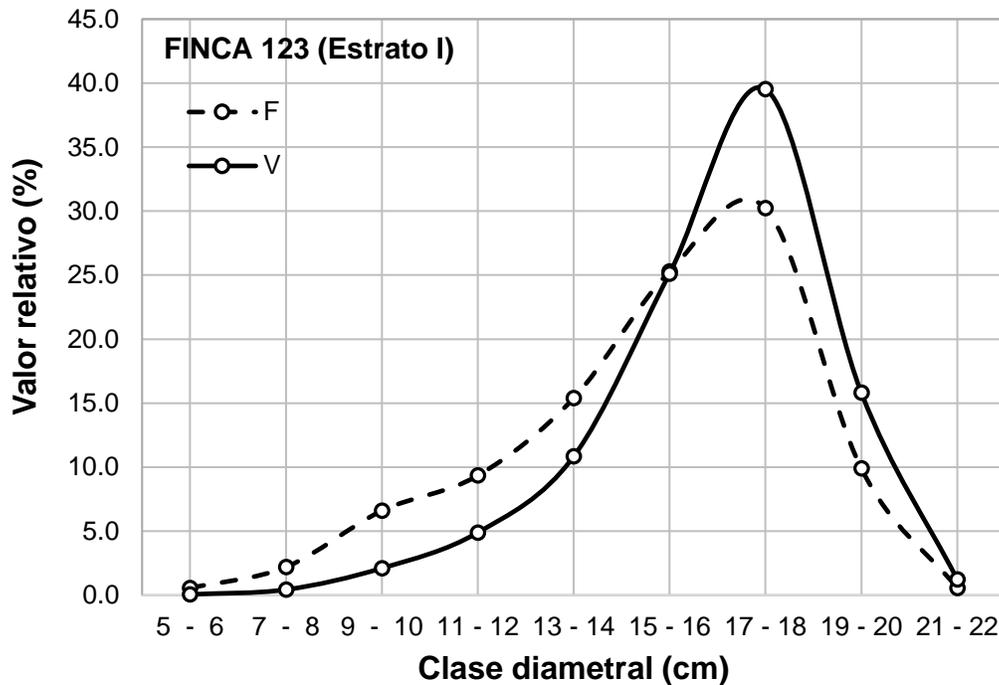


Figura 5. Estructura de rodal de plantación de teca del estrato I de la finca 123

Mientras que las clases diametrales que tienen menor dominancia en el estrato se encuentran en los siguientes rangos, de 9-10 el 6.6%, 11-12 el 9.3% y 13-14 el 15.4%, con cerca del 31% de los árboles/ha, dichos rangos representan el 18% del volumen total del estrato. Los rangos considerados como árboles suprimidos en la plantación están de 5-6 y 7-8 que representan el 0.5% de volumen total, con el 2.7% de los árboles/ha, por tal razón no es significativo dentro de la estructura de la plantación y pueden no estar aportando nada al rodal estos grupos de árboles considerados intermedios y suprimidos.

### b) Estrato II

Para el estrato II en la obtención de datos del inventario se tuvo un EM% del 13.7% presentando un buen muestreo, para este estrato de bajo desarrollo en la finca 123. Este estrato tiene un volumen de 25.81 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 5.50 m<sup>2</sup>/ha, con una densidad de 407 árboles/ha y con un volumen total de 430.24 m<sup>3</sup>/rodal (Cuadro 16).

Cuadro 16. Tabla de rodal del estrato II de la finca 123

Clase diametral	Hectárea			Rodal			%	
	N	G	V	N	G	V	F	V
5 - 6	13	0.04	0.13	222	0.66	2.23	3.3	0.5
7 - 8	27	0.13	0.47	445	2.12	7.80	6.6	1.8
9 - 10	67	0.52	2.17	1111	8.70	36.17	16.4	8.4
11 - 12	87	0.95	4.30	1445	15.91	71.63	21.3	16.6
13 - 14	120	1.85	9.01	2000	30.86	150.14	29.5	34.9
15 - 16	73	1.48	7.34	1222	24.68	122.41	18.0	28.5
17 - 18	20	0.52	2.39	333	8.71	39.86	4.9	9.3
<b>Totales</b>	<b>407</b>	<b>5.50</b>	<b>25.81</b>	<b>6779</b>	<b>91.64</b>	<b>430.24</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Nota:** N = número de árboles, G = área basal en m<sup>2</sup>; V = volumen total en m<sup>3</sup>

La clase diametral que presenta un mayor volumen en el estrato se encuentra en el rango de 13-14, con el 29.5% de los árboles/ha, representando un volumen de 9.01 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 1.85 m<sup>2</sup>/ha y con un volumen total de 150.14 m<sup>3</sup>/rodal. Dicho rango representa el 34.9% del volumen total del estrato, como se observa en la figura 6, siendo una de las clases diametrales que domina en la plantación.

Este rodal presenta muy bajos crecimientos comparados con las otras fincas, teniendo una estructura normal, pero con clases diametrales pequeñas, donde más del 60% de los árboles se encuentran por debajo de los 15 cm de DAP. Estas características de la plantación se dan por las características del sitio, que tiene presencia de pedregosidad y presencia de humedad en el suelo, que son dos factores que limitan el crecimiento de esta especie.

Es importante mencionar que este estrato presenta una menor cantidad de árboles, con respecto del estrato I y que las otras fincas, contando con solamente 400 árboles/ha a una edad de 3 años.

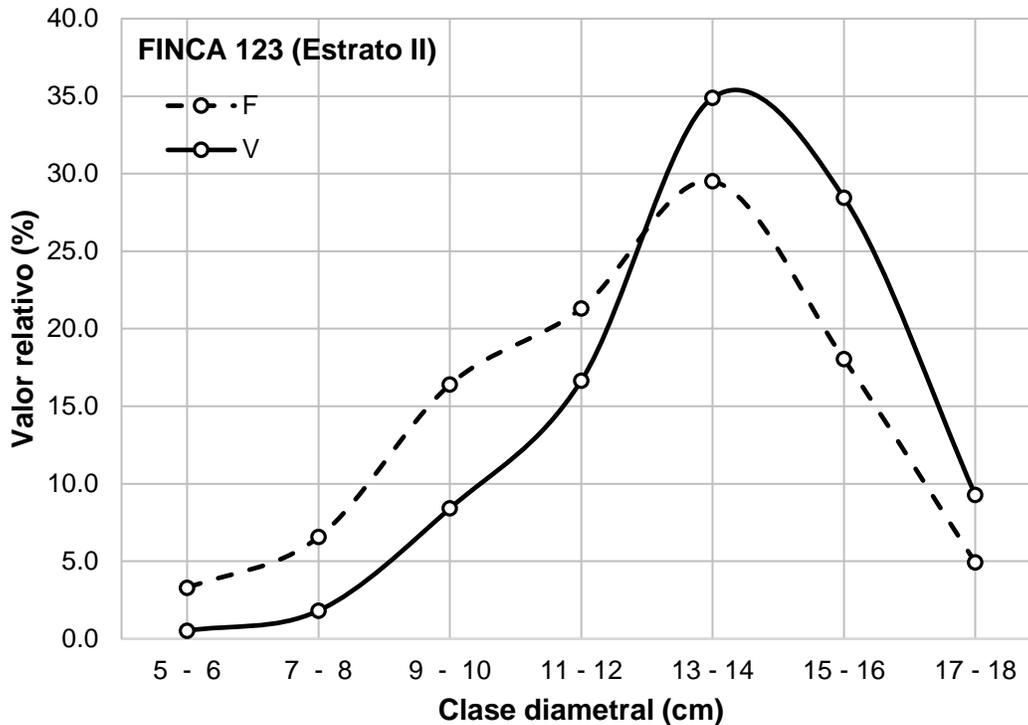


Figura 6. Estructura de rodal de plantación de teca del estrato II de la finca 123

### C. Resumen inventario finca 135

Para esta finca el EM% obtenido luego del inventario fue del 13.7%, con un volumen de 43.64 m<sup>3</sup>/ha, área basal de 9.05 m<sup>2</sup>/ha, una densidad de 552 árboles/ha y un volumen total de 2,174.88 m<sup>3</sup>/rodal, observando que la mayor parte del volumen está contenida en la clase diametral siendo en los rangos de 13-14 y 15-16 (Cuadro 17).

Para la clase diametral con mayor dominancia en volumen de la plantación, está en los rangos de 15-16, con el 30.2% de los árboles/ha, que presentan un volumen de 16.18 m<sup>3</sup>/ha, con un área basal de 3.28 m<sup>2</sup>/ha y el total del área con 806.33 m<sup>3</sup>/rodal, esto representa el 37.1% del volumen total de la plantación. En la figura 7 se muestra las dos clases diametrales que dominan en la plantación y las clases diametrales suprimidas, así como la estructura normal del rodal.

Cuadro 17. Tabla de rodal de la finca 135

Clase diametral	Hectárea			Rodal			%	
	N	G	V	N	G	V	F	V
5 - 6	2	0.01	0.03	119	0.42	1.60	0.4	0.1
7 - 8	5	0.03	0.10	237	1.27	5.03	0.9	0.2
9 - 10	38	0.30	1.27	1899	15.05	63.23	6.9	2.9
11 - 12	90	1.00	4.50	4509	49.83	224.50	16.4	10.3
13 - 14	179	2.67	12.48	8900	133.26	621.84	32.3	28.6
15 - 16	167	3.28	16.18	8307	163.32	806.33	30.2	37.1
17 - 18	64	1.56	7.95	3204	77.66	396.47	11.6	18.2
19 - 20	7	0.21	1.12	356	10.45	55.87	1.3	2.6
<b>Totales</b>	<b>552</b>	<b>9.05</b>	<b>43.64</b>	<b>27531</b>	<b>451.28</b>	<b>2174.88</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Nota:** N = número de árboles, G = área basal en m<sup>2</sup>; V = volumen total en m<sup>3</sup>

Otra de las clases diametrales que dominan en la plantación está en el rango de 13-14, con el 32.3% de los árboles/ha, que presentan un volumen de 12.48 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 2.67 m<sup>2</sup>/ha y el total del área con 621.84 m<sup>3</sup>/rodal, esto representa el 28.6% del volumen total de la plantación.

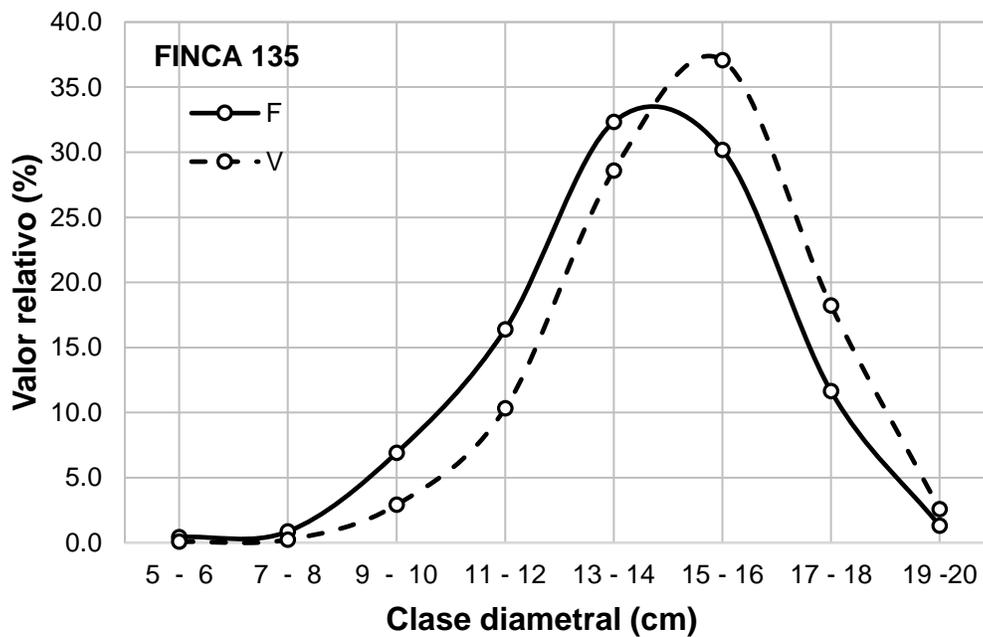


Figura 7. Estructura del rodal de plantación de teca de la finca 135

Las clases diametrales con menor ocupación en la población son las consideradas del 5 al 10, constituidas por los árboles suprimidos, los cuales se encuentran con menores crecimientos. En el caso de los dominantes, constituidos por los árboles de las clases 19 - 20, que son una pequeña cantidad de individuos (7 árboles/ha) que crecen de forma excelente en el sitio.

#### D. Resumen inventario finca 138

La plantación de la finca es una de las más homogénea de las fincas evaluadas, para la obtención de los datos del inventario se tuvo un EM% del 9.8%, obteniendo un volumen de 53.14 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 10.82 m<sup>2</sup>/ha, con una densidad de 644 árboles/ha y con un volumen total de 2,068.93 m<sup>3</sup>/rodal (Cuadro 18).

Cuadro 18. Tabla de rodal de la finca 138

Clase diametral	Hectárea			Rodal			%	
	N	G	V	N	G	V	F	V
9 - 10	8	0.08	0.33	324	2.95	12.67	1.3	0.6
11 - 12	78	0.91	4.10	3028	35.55	159.55	12.1	7.7
13 - 14	281	4.45	21.65	10922	173.11	842.82	43.5	40.7
15 -16	267	5.11	25.60	10381	198.98	996.64	41.4	48.2
17 - 18	11	0.27	1.47	433	10.67	57.26	1.7	2.8
<b>Totales</b>	<b>644</b>	<b>10.82</b>	<b>53.14</b>	<b>25088</b>	<b>421.28</b>	<b>2068.93</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Nota:** N= número de árboles, G = área basal en m<sup>2</sup>; V = volumen total en m<sup>3</sup>

Se puede ver la homogeneidad de la finca en la poca cantidad de clases diametrales con que cuenta, agrupadas en una estructura normal, como se muestra en la figura 8. En esta finca, se muestra que el mayor porcentaje de volumen en la clase diametral de 15-16, con el 41.4% de árboles/ha, que presentan un volumen de 25.60 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 5.11 m<sup>2</sup>/ha y el total del área con 996.64 m<sup>3</sup>/rodal, esto representa el 48.2% del volumen total de la plantación. Es una plantación con la población bien agrupada al centro de la estructura del rodal.

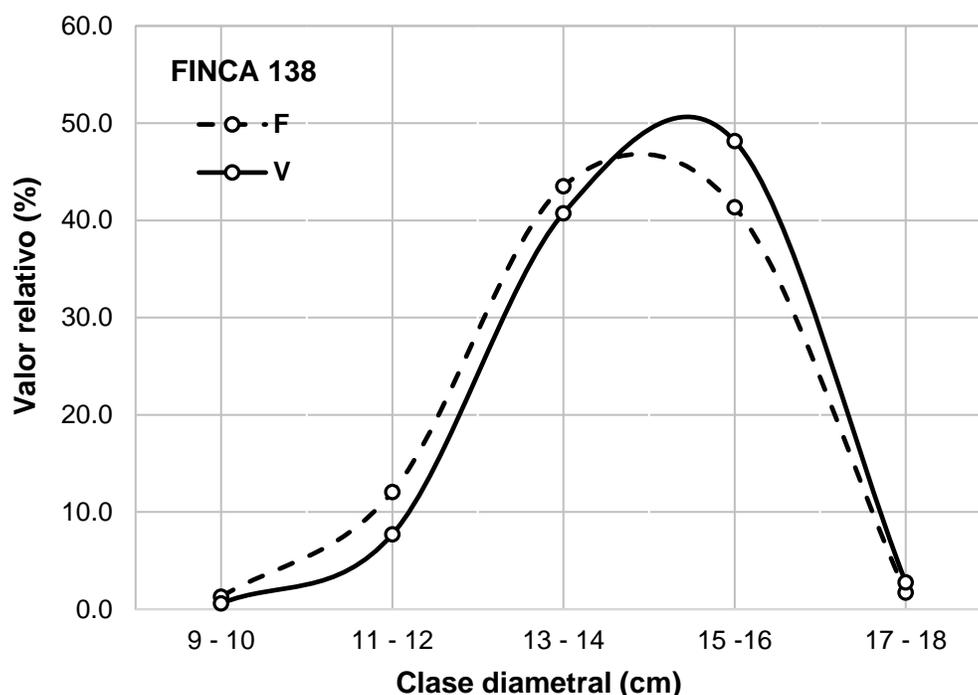


Figura 8. Estructura del rodal de plantación de teca de la finca 138

Entre las clases diametrales con mayor dominancia en la plantación se encuentran también en el rango de 13-14, con el 43.5% de los árboles/ha, que presentan un volumen de 21.65 m<sup>3</sup>/ha, con área basal de 4.45 m<sup>2</sup>/ha y el total del área con 842.82 m<sup>3</sup>/rodal, esto representa el 40.7% del volumen total de la plantación, ya que en la figura anterior se muestra la estructura de la plantación, existiendo 2 clases diametrales que dominan en la plantación y las clases diametrales restantes no son significativas dentro de las misma.

### 6.3 EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD

Los resultados obtenidos en base a las mediciones de las variables directas e indirectas en las cuatro fincas con plantaciones, sirvieron para calcular las variables con las que se evaluó el crecimiento y productividad. Estas variables son importantes para analizar la calidad de estas y poder efectuar la planificación del manejo forestal, debido a que permiten programar las actividades a desarrollar en la plantación. A continuación, se presenta el análisis del crecimiento y productividad por cada finca evaluada.

### 6.3.1 Crecimiento

De acuerdo al análisis de crecimiento de las cuatro fincas, se encontró un incremento medio anual -IMA- en DAP de 4.85 cm/año y en altura total 3.62 m/año. Es importante mencionar que genéticamente estas plantas son producidas a partir de clones seleccionados de forma natural con los mejores crecimientos en el área y probados previamente a ser establecidos de forma definitiva.

Se encontró que la unidad de manejo que presenta el mejor crecimiento, en las dos variables evaluadas, es la finca 123 estrato I, con valores de IMA en DAP 5.23 cm/año y un IMA en altura total de 4.05 m/año, seguidamente se encuentra la finca 120 con un buen crecimiento similar al estrato I de la finca 123, obteniendo valores de IMA en DAP de 5.11 cm/año y de altura total de 3.65 m/año (Cuadro 19).

Cuadro 19. Promedios de crecimiento en DAP y altura total de las fincas evaluadas

Fincas	Incremento medio anual	
	DAP (cm/año)	Altura total (m/año)
120	5.11	3.65
135	4.76	3.51
138	4.85	3.61
123 - I	5.23	4.05
123 - II	4.27	3.29
<b>Promedio</b>	<b>4.85</b>	<b>3.62</b>

En la figura 9, se graficaron los resultados del IMA DAP de todas las fincas, comparadas con la línea del promedio de las fincas evaluadas. Se muestra que la finca 120 y el estrato I de la finca 123, el IMA en DAP está por arriba del promedio, siendo las dos fincas con mejor crecimiento en DAP, mientras que el estrato II de la finca 123 se encuentra por debajo del promedio, siendo la finca con el menor crecimiento de las fincas evaluadas. Para el caso de las fincas 135 y 138, son fincas muy parecidas al promedio con valores de IMA DAP de 4.76 cm/año y 4.85 cm/año respectivamente.

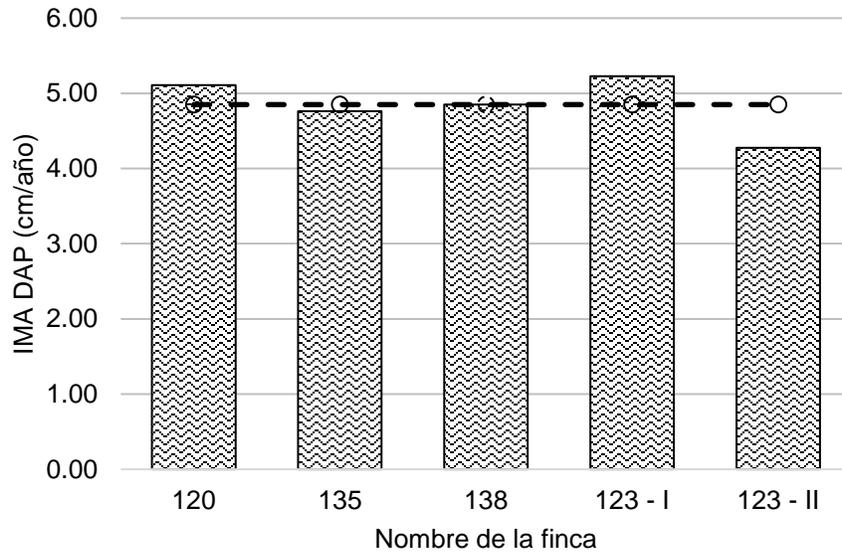


Figura 9. Promedio de crecimiento en DAP de las fincas evaluadas con plantaciones de teca

En la figura 10, se observa que únicamente el estrato I de la finca 123 presenta un crecimiento por arriba de la media de IMAHTOT, con un valor de 4.05 m/año, mientras que el estrato II de esta misma finca, presenta el crecimiento por debajo de la media con un valor de 3.29 m/año. Las otras 3 fincas evaluadas, 120, 135 y 138, presentan valores cercanos al promedio, mostrando crecimientos aceptables para esta evaluación.

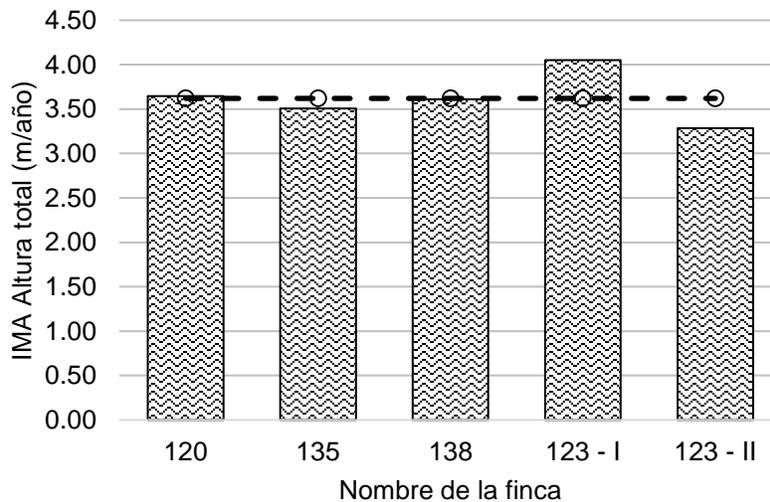


Figura 10. Promedio de crecimiento en altura total de las fincas evaluadas con plantaciones de teca

Comparando con los estudios de crecimiento realizados en Guatemala en diferentes regiones por Vaides (2004) y Mollinedo & colaboradores (2016), se puede identificar que los crecimientos en DAP y altura total, se encuentran por arriba de los reportados en los estudios para Guatemala. Es importante mencionar que los autores antes mencionados, efectuaron las evaluaciones en plantaciones establecidas a partir de plantas procedentes de semillas, mientras que las evaluadas en el presente estudio son plantas producidas de forma asexual (clones).

En el cuadro 20, se muestran estas diferencias, con los valores para los incrementos medios anuales de las mejores clases de sitio, para ambos estudios.

Cuadro 20. Valores de IMA en DAP y altura total evaluados para Guatemala y los encontrados en el presente estudio

<b>Variables</b>	<b>Vaides (2004)</b>	<b>Mollinedo (2016)</b>	<b>Fincas evaluadas (Promedio)</b>
<b>IMA DAP (cm/año)</b>	3.48	2.82	4.85
<b>IMA HTOT (m/año)</b>	3.09	2.62	3.62

### 6.3.2 Productividad

Para el análisis de productividad de las cuatro fincas se encontró un promedio de incremento medios anuales -IMA- en Área basal de 3.13 m<sup>2</sup>/ha/año y en volumen de 15.85 m<sup>3</sup>/ha/año, esto representa una buena productividad para las plantaciones evaluadas al año 3. Los valores obtenidos por finca se presentan en el cuadro 21.

La finca que presenta la mejor productividad en la evaluación, es el estrato I de la finca 123, donde se obtuvo un IMA en área basal de 4.05 m<sup>2</sup>/ha/año y en volumen de 22.61 m<sup>3</sup>/ha/año. De acuerdo a las evaluaciones efectuadas por Vaides (2004), en diferentes regiones de Guatemala, esta unidad productiva calificaría como un sitio excelente, donde se reportan promedios de IMA en área basal de 3.44 m<sup>2</sup>/ha/año y de IMA volumen total de 25.38 m<sup>3</sup>/ha/año.

Cuadro 21. Promedios de productividad en área basal y volumen total de las fincas evaluadas con plantaciones de teca

Incremento medio anual		
Fincas	Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha/año)
120	3.15	15.90
135	3.03	14.59
138	3.61	17.72
123 - I	4.05	22.61
123 - II	1.83	8.42
<b>Promedio</b>	<b>3.13</b>	<b>15.85</b>

En la figura 11, se muestran los valores del IMA en AB, comparado con la productividad media de esta variable donde claramente se notan los extremos representados por los dos estratos de la finca 123.

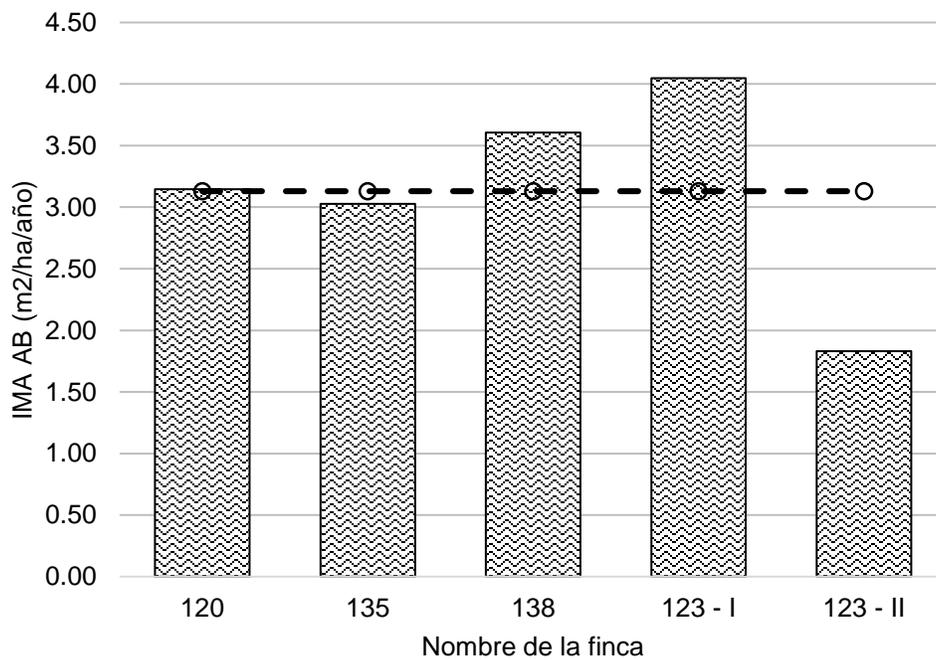


Figura 11. Promedio de productividad en área basal de las fincas evaluadas con plantaciones de teca

En el gráfico anterior se observa que las fincas 120 y 135 son muy similares a la media encontrada en esta evaluación, que clasificarían como sitios de crecimiento alto en la evaluación para Guatemala que efectuó Vaides (2004). La finca 138 es una finca intermedia entre crecimiento alto y excelente, que presenta valores un poco arriba de la media reportada para esta evaluación (3.61 m<sup>2</sup>/ha/año de IMAAB).

La finca con la menor productividad, expresada por los valores de IMAAB, es el estrato II de la finca 123, debido principalmente a la baja densidad de árboles reportados en el inventario forestal, debido al bajo prendimiento inicial de la plantación causada por la competencia con malezas que aún se evidencia en el área.

En la figura 12, se presenta el análisis de la productividad con la variable IMA en volumen total, comparando el valor promedio con los valores con cada finca evaluada.

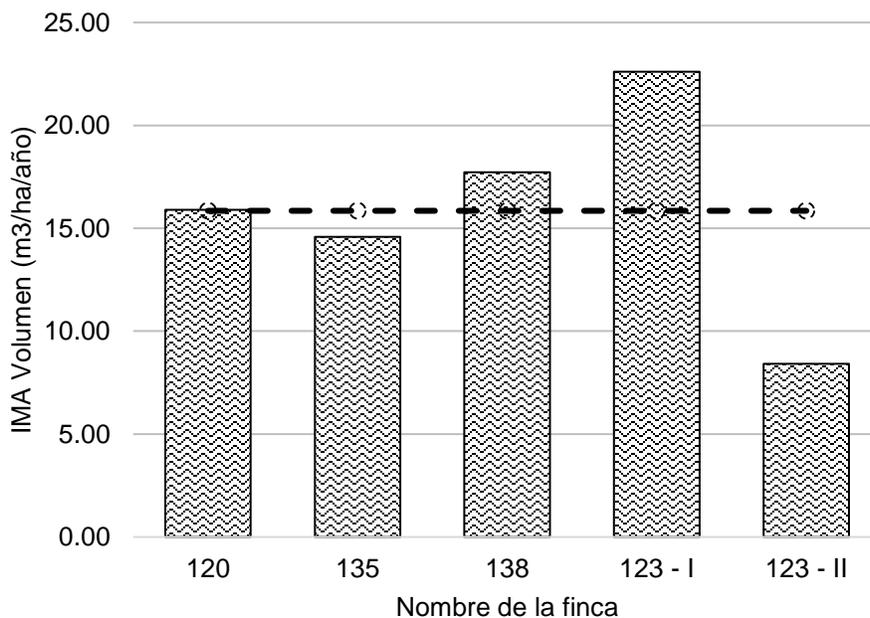


Figura 12. Promedio de productividad en Volumen de las fincas evaluadas

Al igual que en la evaluación de la productividad en AB, el volumen total muestra el mejor valor en el estrato I de la finca 123, con un valor de 22.61 m<sup>3</sup>/ha/año a la edad de 3 años, lo que indica que estos materiales provenientes de clones responden muy rápido al

crecimiento de la especie en estos sitios. El menor valor lo reporta en la misma finca, el estrato II, con una productividad de volumen total de IMAVOL 8.42 m<sup>3</sup>/ha/año, por el mismo efecto de la baja densidad de este estrato dentro de la finca.

Las otras 3 fincas evaluadas (120, 135 y 138), presentan valores muy cercanos a la media de la productividad en volumen, calificándolas de acuerdo a las evaluaciones nacionales como fincas de sitios con productividad alta.

De acuerdo a Vaides (2004) y Mollinedo (2016), de los estudios realizados en Guatemala, sobre el crecimiento y productividad en plantaciones de teca en diferentes clases de sitio, estas fincas evaluadas estarían clasificadas dentro de crecimientos que están en alta y excelente productividad.

## **6.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS PLANTACIONES**

### **6.4.1 Defectos de fuste y códigos de forma**

Para la evaluación de la calidad de los árboles en las fincas, respecto a la forma y defectos del fuste, se hace referencia a una proporción expresada en porcentaje respecto al 100% de todos los árboles en las plantaciones para cada clase.

En la figura 13, se muestran las proporciones para cada clase de forma y defecto del fuste, encontrando un porcentaje alto en ejes rectos sin defecto de fuste, en las cuatro fincas evaluadas, con un promedio de 91.15%, mientras que en torcedura basal hay un promedio de 5.17% y el 3.68% presentan otros defectos. Esto indica que el mayor porcentaje de los árboles dentro de las plantaciones de las fincas presentan buenas formas y pocos defectos. Estos resultados son importantes porque al momento de prescribir un raleo puede no ser necesario basarse en las malas formas para la escogencia de árboles a cortar y si hablamos de la poda, la selección de los árboles a podar puede no depender de podar solo árboles rectos.

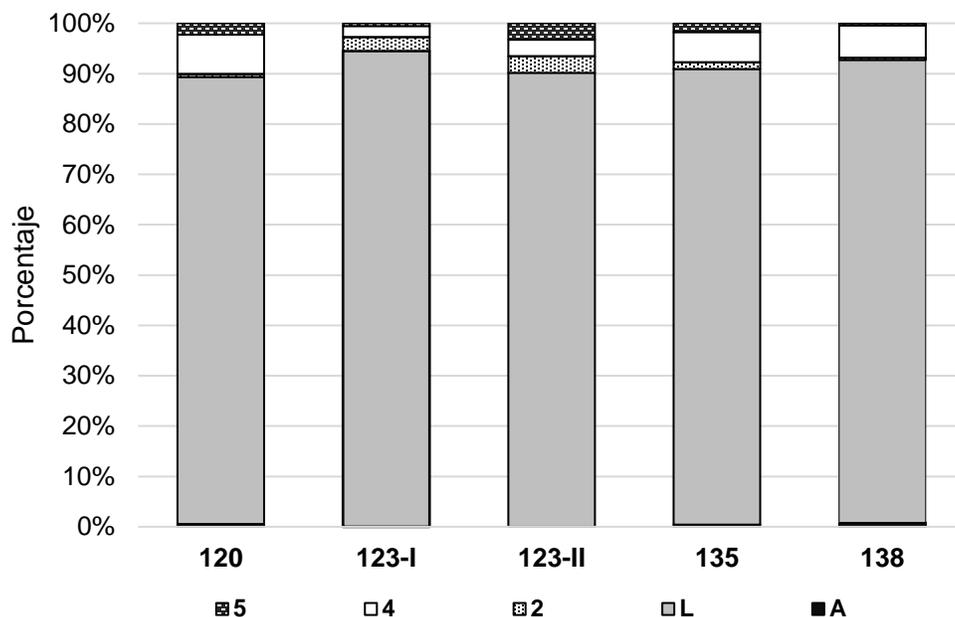


Figura 13. Porcentaje de los defectos de fuste y de forma de las plantaciones

La figura anterior, muestra claramente que, en las fincas evaluadas, la variable indirecta que presentan un mayor porcentaje son árboles con ejes rectos sin defecto, esto refleja que las plantas establecidas en estos sitios, proveniente de reproducción asexual (clones) tienden a tener buena forma, ya que los otros defectos presentan un bajo porcentaje en cada finca.

Para la finca que presenta un porcentaje mayor al promedio es la finca 123 en el estrato I presentando el 94.5% de los individuos dentro de la plantación sin ningún defecto, siendo de ejes rectos, por tal razón solo el 5.5% de los individuos presentan defectos como lo es poco sinuoso, torcedura basal y Bifurcación, como se muestra en el cuadro 22.

Por el contrario, la finca que presenta un porcentaje menor al promedio es la finca 120, con valores de 88.76% de los individuos de la plantación sin ningún defecto, siendo de ejes rectos y es una de las fincas que presenta un mayor porcentaje en cuanto torcedura basal con el 7.87%, mientras que el 2.25% con bifurcación y el 1.12% otros defectos. Tomando en cuenta estas variables, sería importante evaluar si estas fincas tienen la

misma fuente de materiales de reproducción asexual, para poder determinar si alguno de los clones establecidos presenta esta torcedura basal de forma sistemática.

Cuadro 22. Porcentaje de los defectos de fuste y códigos de forma de las fincas evaluadas con plantaciones de teca

	Códigos	Nombre de fincas					Promedio
		120	123-I	123-II	135	138	
Defectos de fuste y código de forma	A	0.56			0.43	0.86	0.62
	L	88.76	94.5	90.16	90.52	91.81	91.15
	2	0.56	2.75	3.28	1.29	0.43	1.66
	4	7.87	2.2	3.28	6.03	6.47	5.17
	5	2.25	0.55	3.28	1.72	0.43	1.65

**Nota (Códigos):** A = Tallo quebrado con recuperación, L = Ejes rectos y sin defecto de forma, 2 = Poco sinuoso, 4 = Torcedura basal, 5 = Bifurcado.

Es importante notar que, a pesar de ser teca una especie susceptible al viento, el Tallo quebrado con recuperación, es el menor de los defectos encontrados en estas plantaciones, pudiendo ser una característica importante de los materiales plantados en las fincas.

#### 6.4.2 Clasificación del árbol según la posición de la copa

Para la clasificación de los árboles en cuanto a la posición de la copa, se evaluaron cuatro clases que son: Dominantes, codominantes, intermedio y suprimido, esto con la finalidad de evaluar el estado actual de las plantaciones ya que esta variable no es permanente, sino que puede surgir cambios en base a las actividades que se le programe.

En las fincas evaluadas se encontró un promedio en porcentaje con respecto al cien por ciento de las plantaciones, encontrando el 80.86% de los individuos en la posición codominante y el 9.14% se encuentra en la posición dominante, mientras que el 7.76% se encuentra en una posición intermedia y el 3.79% se encuentra suprimido. El promedio refleja que las plantaciones tienen crecimiento homogéneo reflejado en cuanto a la posición que domina dentro de las plantaciones, ya que se considera que es un indicador

de buen crecimiento de dicha especie y que son árboles prometedores para la corta final (Cuadro 23).

Cuadro 23. Posición con respecto al dosel de los árboles de las fincas evaluadas con plantaciones de teca, expresado en porcentaje

Posición	Nombre de Fincas					Promedio
	120	123-I	123-II	135	138	
<b>Dominante</b>	9.55	17.03	13.11	1.72	4.31	9.14
<b>Codominante</b>	76.41	80.77	72.13	84.92	90.09	80.86
<b>Intermedio</b>	7.3		8.2	11.64	3.88	7.76
<b>Suprimido</b>	6.74	2.2	6.56	1.72	1.72	3.79

En la figura 14 se observa que la posición dominante en la finca 120, 123-I y 123-II existe un porcentaje entre 9% y 17.03%. Mientras que la finca que presenta un porcentaje bajo en árboles dominantes es la 135 con el 1.72% y la finca 138 con el 4.31% de árboles dominante, ya que, en las dos fincas con menor porcentaje de árboles dominante. La clase que posee mayor porcentaje es la codominante, principalmente en la finca 138 que se encuentra por arriba del promedio con el 90.09% de árboles codominantes.

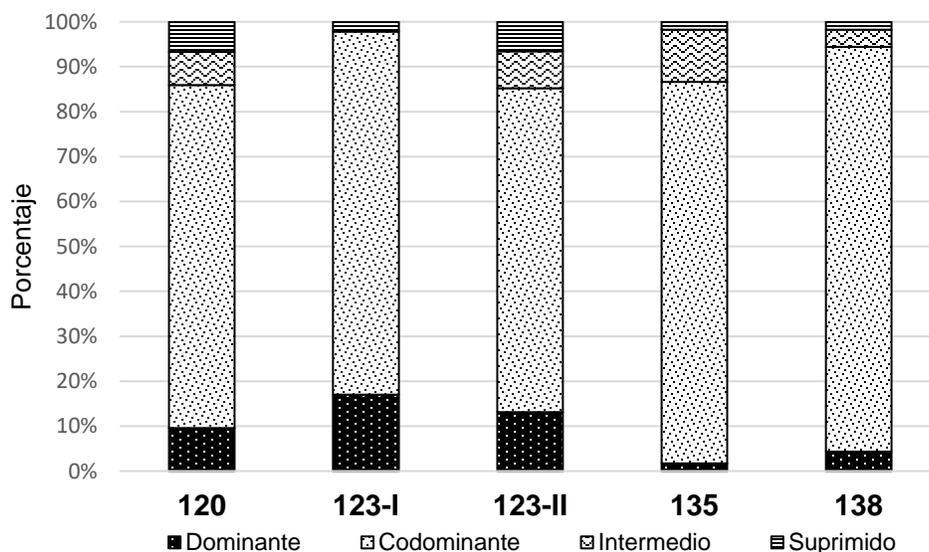


Figura 14. Posición de los árboles de las fincas evaluadas con plantaciones de teca

Las otras dos posiciones como lo es el intermedio y lo suprimido presentan un porcentaje bajo en las diferentes fincas, por tal razón los manejos de las plantaciones con esas dos posiciones de los árboles no tienen ninguna posibilidad de aportar a la producción del rodal, y pueda que no estén compitiendo ya con los codominantes y dominantes.

## 7. CONCLUSIONES

- Se identificaron que en las plantaciones de las fincas 120, 135 y 138 existe un solo estrato, no mostrando diferencias en cuanto a su crecimiento. Mientras que la finca 123 presenta heterogeneidad en la plantación, habiendo diferencias en cuanto a su crecimiento y a la densidad de los árboles, por tal razón la finca se dividió en dos estratos, siendo el estrato I con 18.83 ha que presentó buen crecimiento, y el estrato II, con 16.67 ha con bajo crecimiento.
- Los resultados del inventario en cuanto a volúmenes de las cuatro fincas, oscila entre 25 a 68 m<sup>3</sup>/ha; encontrando que la finca 123 en el estrato I con volumen de 67.68 m<sup>3</sup>/ha con crecimiento alto, siendo superior a las demás, mientras que en la finca 123 en el estrato II se estimó un volumen de 25.81 m<sup>3</sup>/ha presentado un bajo crecimiento comparados con las otras fincas, esto es a causa de las características del sitio donde se encuentra la plantación. Las estimaciones de volúmenes se realizaron con la finalidad de conocer si las plantaciones están creciendo de acuerdo a las proyecciones de la empresa.
- Para el análisis de crecimiento de las fincas evaluadas, se encontró un promedio en incremento medio anual -IMA- en DAP de 4.85 cm/año y en altura total 3.62 m/año, esto refleja que dichas plantaciones presentan un buen crecimiento y por ende se encuentra en los sitios adecuados requeridos por la teca.

Para la productividad de las fincas se encontró un promedio en incremento medio anual -IMA- en área basal de 3.13 m<sup>2</sup>/ha/año y en volumen de 15.85 m<sup>3</sup>/ha/año, por tal razón las fincas tienen una productividad alta y de acuerdo a los estudios realizados por Vaides (2004) y Mollinedo (2016), estas fincas estarían clasificadas dentro de crecimientos que están en alta y excelente productividad y así mismo esto indica que los materiales provenientes de clones responden muy rápido al crecimiento y a una productividad alta de la especie en estos sitios.

- Para la evaluación de la calidad de los árboles en pie, se encontró que todas fincas

el 91.15% son árboles de ejes rectos y sin ningún defecto, mientras que el 8.85% corresponde a árboles con otros defectos, esto refleja que las plantas establecidas en el sitio no tienden a tener defectos ya que son provenientes de clones y tienden a tener buena forma.

De acuerdo a la posición de los árboles en las plantaciones evaluadas se determinó que el 90% son árboles codominantes y dominantes, siendo los que ocupan el dosel general de la plantación, lo que los define como buenos, mientras que el 10% lo ocupa los árboles intermedios y suprimidos. La posición del árbol que domina refleja que son árboles prometedores para la corta final.

## 8. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el volumen a partir de la altura comercial de las plantaciones, esto con la finalidad de obtener el volumen real aprovechar, ya que solo existen investigación donde se evaluaron el volumen a partir de la altura total de plantaciones.
2. Otra forma en la que se pudiera apoyar la predicción del volumen comercial es a través de la generación de modelos de ahusamiento o factores de conicidad, con el fin de poder estimar los diferentes productos en función del diámetro de los mismos.
3. Al momento de realizar un inventario forestal, es importante observar en campo la homogeneidad de la plantación, esto a razón de si es necesario de estratificarla o no, con el fin de no sobre estimar el volumen actual de la plantación y así mismo determinar si se encuentran en los mejores sitios requeridos por la teca.
4. Para la calidad de las plantaciones sería importante evaluar nuevamente si estas fincas tienen la misma fuente de materiales de reproducción asexual, esto con la finalidad si algunos clones presentan algún defecto.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Arzubialde, J. (2007). La plantación de Teca y Caoba. Manual técnico de extensión N° 1. Mérida, Venezuela. Editorial Venezolana, C.A. 1-64p.
- Caal, H. (2014). Evaluación del primer raleo comercial en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Petén. Tesis, Sistematización de práctica profesional Ing. Forestal, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 160 p.
- Carrera, F. (1998). Manual de inventarios forestales en latifoliadas. Tema IV, curso Manejo de Bosques Naturales Latifoliados. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza "CATIE", Instituto Nacional de Bosques "INAB", Consejo Nacional de Áreas Protegidas "CONAP". Petén, Guatemala. 44 pp.
- Chaves, E. y Fonseca, W. (1991). Teca: *Tectona grandis* L.F.; especie de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto Madeleña CATIE-ROCAP. Serie técnica, Informe técnico 179. 47p.
- Chub, M. (2011). Análisis de la rentabilidad del cambio en el uso de la tierra agrícola/pecuario a forestal con plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.f.) del programa de incentivos forestales –PINFOR- en la Sub-Región II-5 de Guatemala. Tesis Ing. Forestal Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 93 p.
- De Camino, R. y Morales, J. P. (Eds.). (2013). Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades. Turrialba, Costa Rica. (CATIE) División de Investigación y Desarrollo. (Serie Técnica. Boletín Técnico / CATIE; no. 397), 01-382pp.
- Fallas, JL. (2012). Absorción de nutrientes y respuesta a la fertilización de la teca (*Tectona grandis*) en ultisoles de la zona norte de Costa Rica. Tesis de Maestría. San José, Costa Rica, UCR. 90 p.
- FAO, (2010). Recursos de teca y evaluación de mercado 2010 (*Tectona grandis* Linn. F.). Bosques y árboles plantados Working Paper Series. Documento de trabajo FP/47/E FAO, Roma, Italia.

- Fernández, J., Alvarado, A., San Miguel, A. y Marchamalo, M. (2014). Forest nutrition and fertilization in teak (*Tectona grandis L.f.*) plantations in Central America. *Journal of Forestry Science*, New Zealand. Nov. 26, 01-08p.
- Fernández, J., Murillo, R., Portuguez, E., Fallas, J. L., Rios, V., Kottman, F., Verjans, J., Mata, R. y Alvarado, A. (2013). Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis L.f.*) plantations in Central America. *Forest Systems*, 22(1):123-133pp.
- Fonseca, W. (2004). Manual para productores de teca (*Tectona grandis L. f*) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica.
- Fuentes, L. (2014). Productividad de las plantaciones forestales en los diferentes tipos de raleos en la región II las Verapaces. Tesis Ing. Forestal Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 1-48p.
- Gutiérrez, B. (2008). Evaluación de la respuesta del crecimiento, productividad y calidad de una plantación de Teca (*Tectona Grandis L.F. Verbenaceae*), con un raleo prescrito al 50%, en tres clases de sitio, en la finca Sexán Ixte, Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. Tesis Ing. Forestal Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Guatemala.
- Higman, S., Bass, S., Judd, N. & Nussbaum, R. (1999). *The sustainable Forestry Handbook. A practical guide for tropical forest managers on implementing new standars.* Earthscan Publications. London, Reino Unido. 289 p.
- INAB, (2015). Lineamientos Técnicos de Manejo Forestal Sostenible. Guatemala 47 p.
- Maginnis, S., Mendez, J. & Davies, J. (1998). Manual para el manejo de bloques pequeños de bosque húmedo tropical. Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos (CODEFORSA). Costa Rica. 208 p.
- Malleux, J. (1982). Inventarios forestales en bosques tropicales. Universidad Agraria la Molina. Lima Peru. 441 p.
- Mollinedo G., M. S., Herrera M., M. Á. y Muñoz S., F. (2016). Caracterización del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis Linn f.*) y estimación de curvas de índice de sitio, en el área septentrional de la República de Guatemala. *Madera y Bosques*, 22 (2), 89-103p.

- Mollinedo, M. (2003). Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.) en la zona oeste, cuenca del canal de Panamá. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE.
- Orozco, L. & Brumer, C. (2002). Inventarios forestales para los bosques latifoliados en América Central, CATIE, Serie Técnica. Manual Técnico N° 50. Turrialba, Costa Rica. 264 p.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F. & Real, P. (1997). Mensura forestal. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 586 pp.
- Sotomayor G., Helmke W. & García R. (2002). Manejo y mantención de plantaciones forestales, (*Pinus radiata* y *Eucalyptus* sp). Manual, Instituto Forestal, Ciudad de Chile.
- Synnott, T. (1990). Manual de procedimiento de parcelas permanentes para bosque húmedo tropical. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Serie de Apoyo Académico N° 12. 1-103p.
- The list of plants (2010). Published online. consultado el 09 de Oct. 2016. Recuperado de <http://www.theplantlist.org/>.
- Ugalde, L. (1997). Teca (*Tectona grandis* L.F.): Resultado de investigación silvicultural del proyecto MADELEÑA en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 63 p.
- Ugalde, L. (2000). 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 Mirasilv. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 16 p.
- Vaides, E. (2004). Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de Teca (*Tectona grandis* L.f.), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala. Tesis Ms. For. Turrialba CR, CATIE. 95 p.
- Vaides, E. (2005). Selección de sitios para el establecimiento de Teca en Guatemala. Documento Técnico No. 1. Ciudad de Guatemala.

## 10.ANEXOS

### 10.1 Boleta para levantamiento de parcelas en inventario Forestal

#### BOLETA DE INVENTARIOS OBSERVACIONES

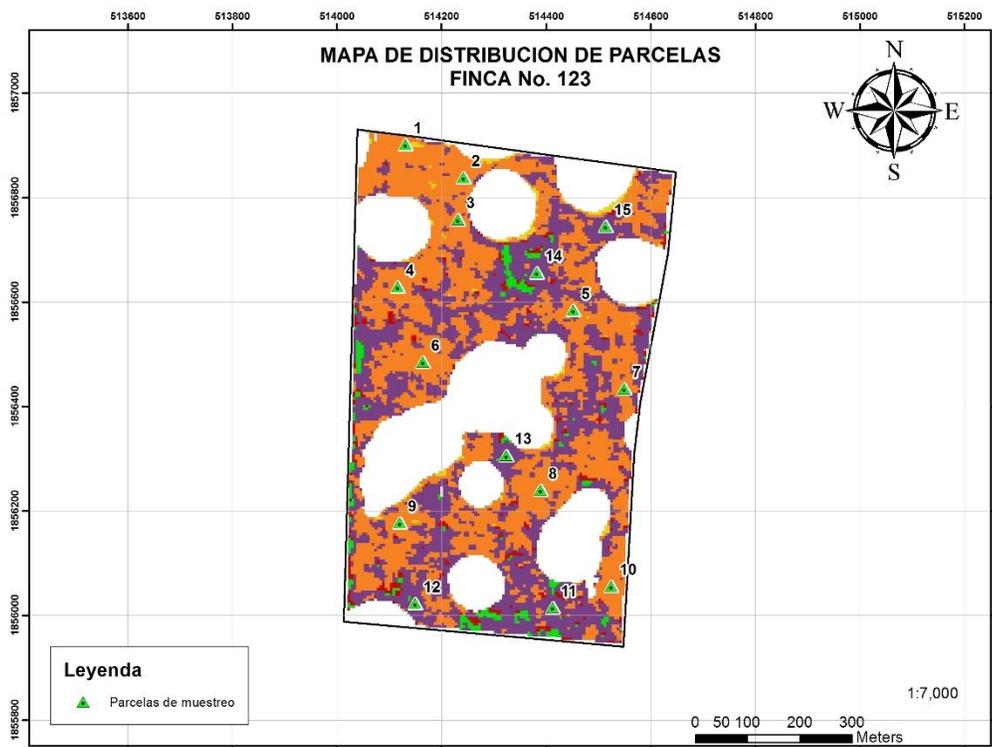
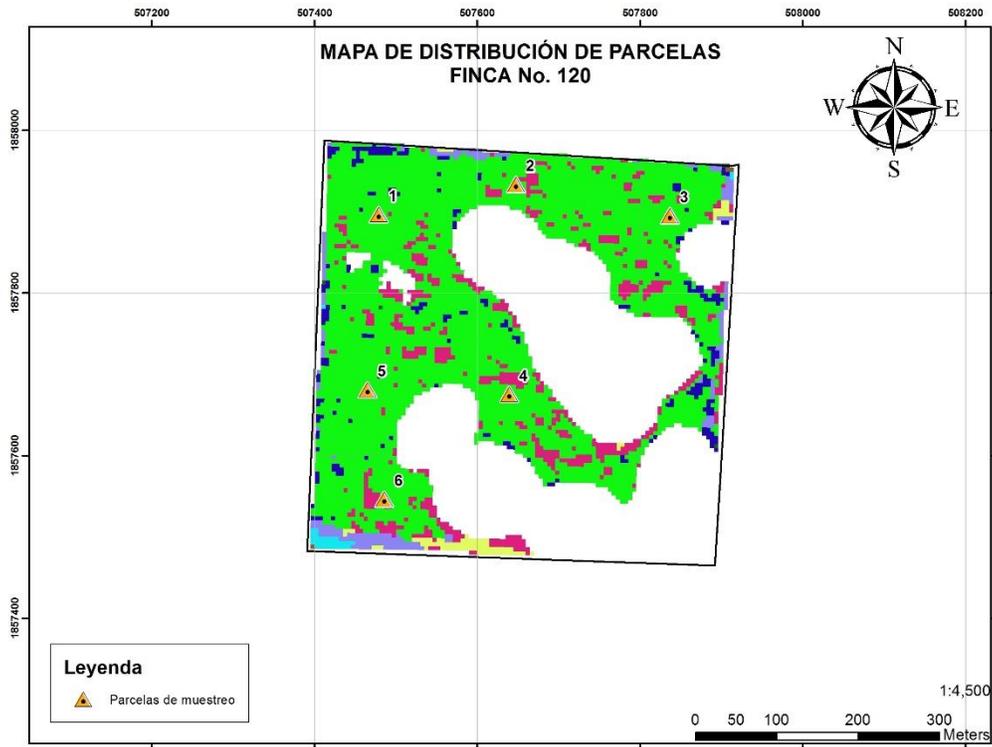
Finca No.									Parcela No.				
Año plantación									Área de la parcela			m <sup>2</sup>	
Rodal									Responsable				
Coordenadas UTM.			X:			Y:			Fecha de medición				
No. planta	DAP (cm)	HT (m)	Sección 1		Sección 2		Sección 3		Hc (m)	Códigos		Posición	
			Alt.	Cal.	Alt.	Cal.	Alt.	Cal.		De forma	Defectos de fuste		
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													

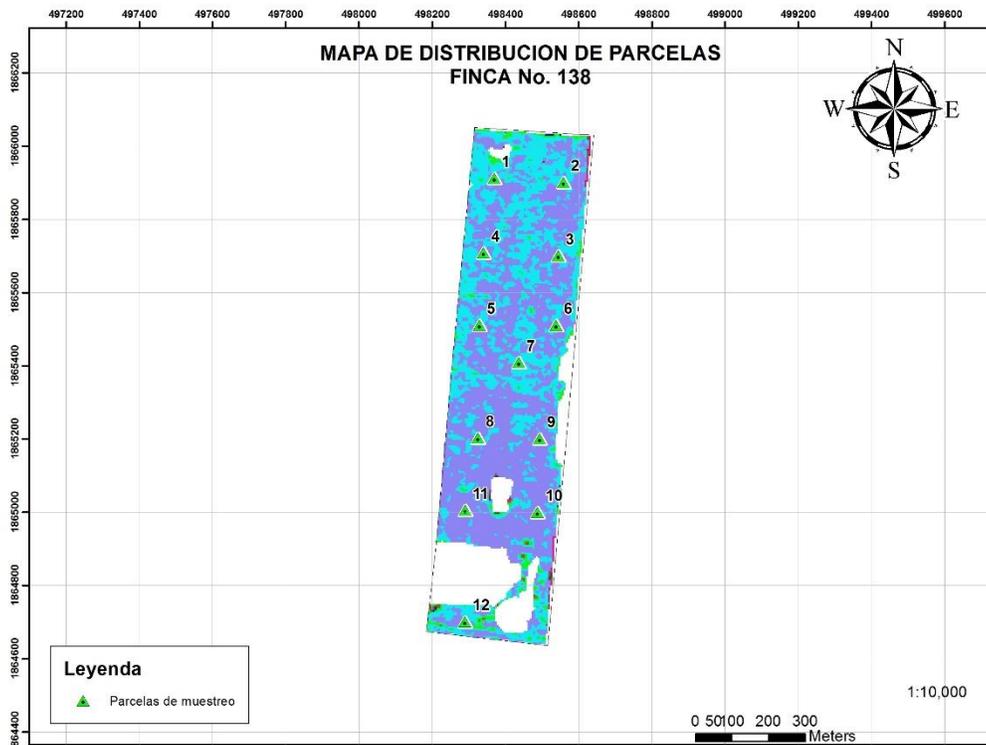
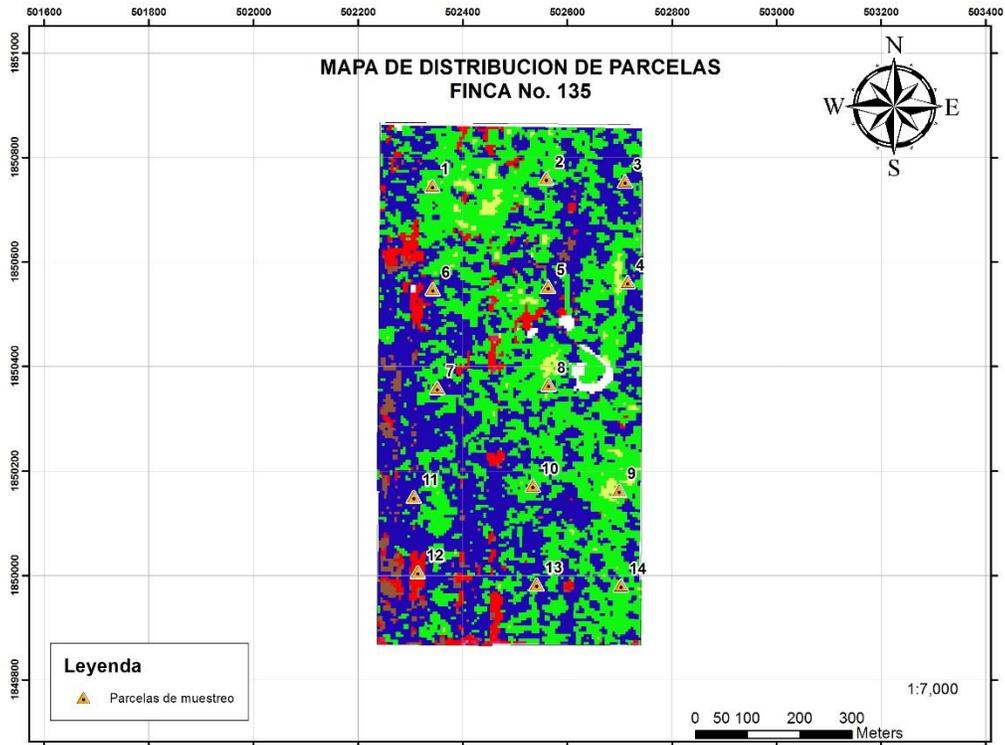
**CALIDAD:** indicador si la sección es apta para exportación (1), sección mercado nacional (2), sección para biomasa (3). Las secciones se clasifican por forma y sanidad, no por diámetro.

**CÓDIGOS DE FORMA:** (1) = Cola de zorro, (2) = Poco sinuoso, (3) = Muy sinuoso, (4) = Torcedura basal, (5) = Bifurcado, (6) = Inclinado, (7) = Enfermo, (8) = Con plagas, (9) = Copa asimétrica.

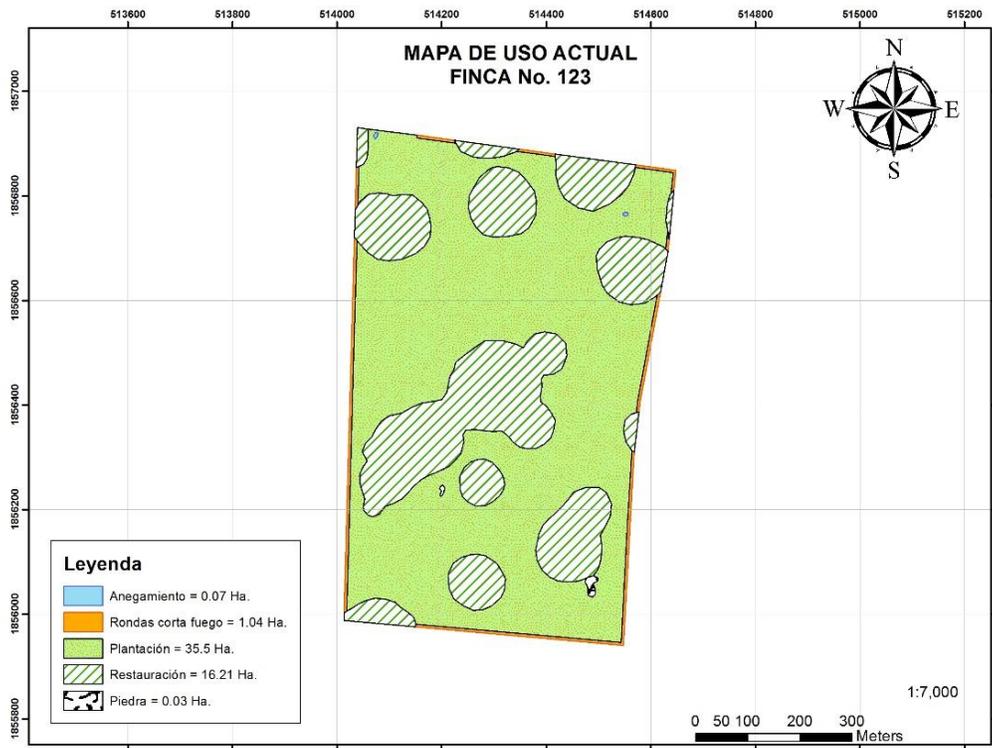
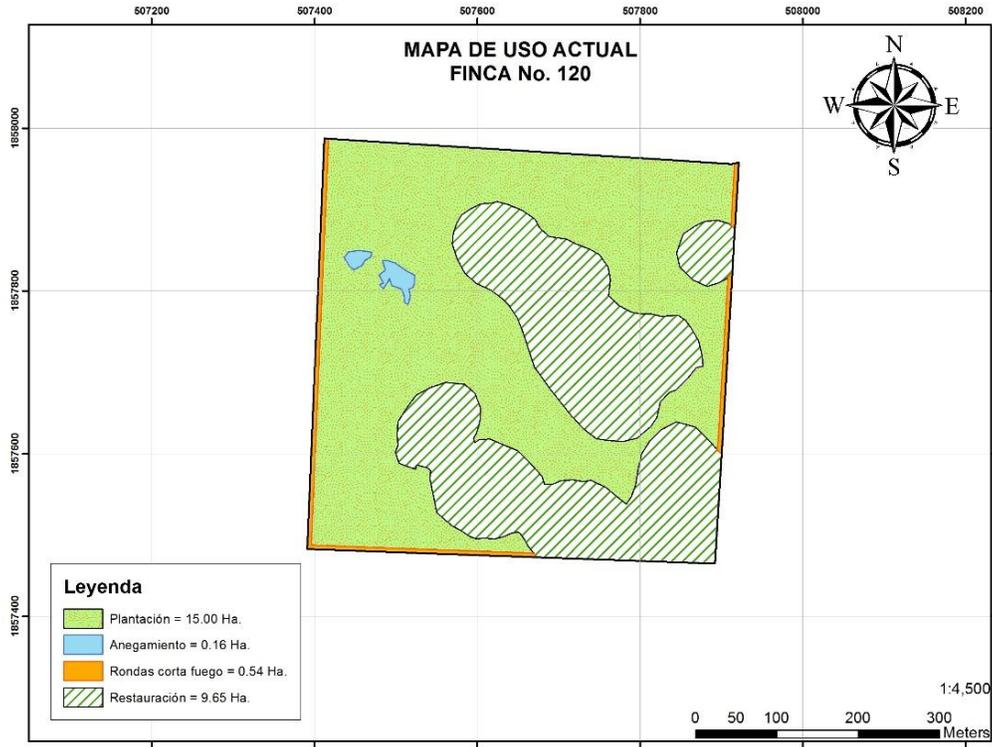
**CÓDIGOS DEFECTO DEL FUSTE:** (A)= Tallo quebrado con recuperación, (B)= Tallo quebrado sin recuperación, (C)= Sincopa, (D)= Replantación, (E)= spp. Extraña, (F)= rebrote, (G)= raleado, (H)= regeneración natural, (I) = Dominante, (J) = Codominante, (K) = Suprimido, (L)= Ejes rectos y sin defecto de forma.

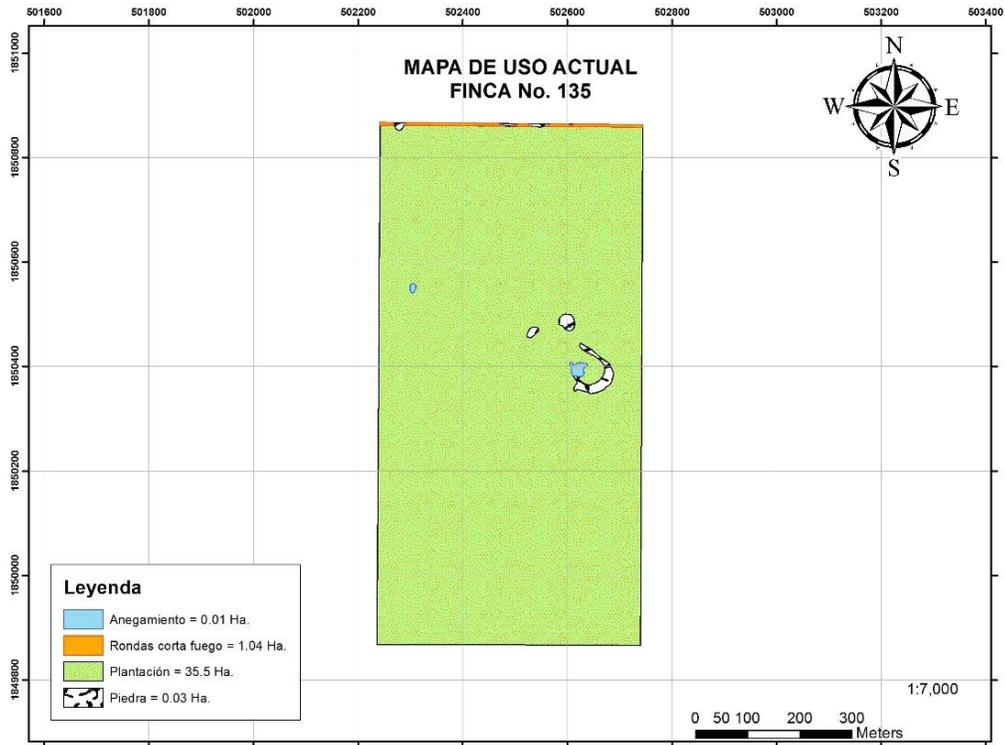
## 10.2 Mapas de distribución de parcelas de las fincas evaluadas





### 10.3 Mapas de uso de las fincas evaluadas en la Práctica Profesional





#### 10.4 Formulas del análisis estadístico de acuerdo a Orozco y Brumer (2002)

- MEDIA DEL ESTRATO:

$$X_{st} = \frac{\sum(N_j * X_j)}{N}$$

- DESVIACION ESTANDAR

$$S_{st} = \sum(S_i * P_i)$$

- COEFICIENTE DE VARIACION ESTRATIFICADO

$$CV\% = (S_{st}/X_{st}) * 100\%$$

- ERROR ESTANDAR DE LA MEDIA

$$S_{Xst} = \sqrt{\sum(P_j^2 * S_{xj}^2)}$$

- ERROR DE MUESTREO ABSOLUTO (E) Y RELATIVO (E%):

$$E = S_{Xst} * t_{\alpha/2, n-m}$$

$$E\% = \frac{E}{X_{st}} * 100$$

- LIMITES DE CONFIANZAS INFERIOR (Li) Y SUPERIOR (Ls)

$$Li \text{ y } Ls = X_{st} \pm S_{Xst} t_{\alpha/2, n-m}$$

Dónde:

$N_j$  = Estrato de tamaño conocido.

$X_{st}$  = Media del estrato.

$N$  = Población total.

$X_j$  = Promedio por estrato.

$S_{st}$  = Desviación estándar del estrato.

$S_j$  = Desviación estándar.

$P_j$  = Proporción a la variación del estrato.

$CV\%$  = % del coeficiente de variación del estrato.

$S_{xst}$  = Error estándar de la media

$S_{xj}$  = Error estándar por estrato.

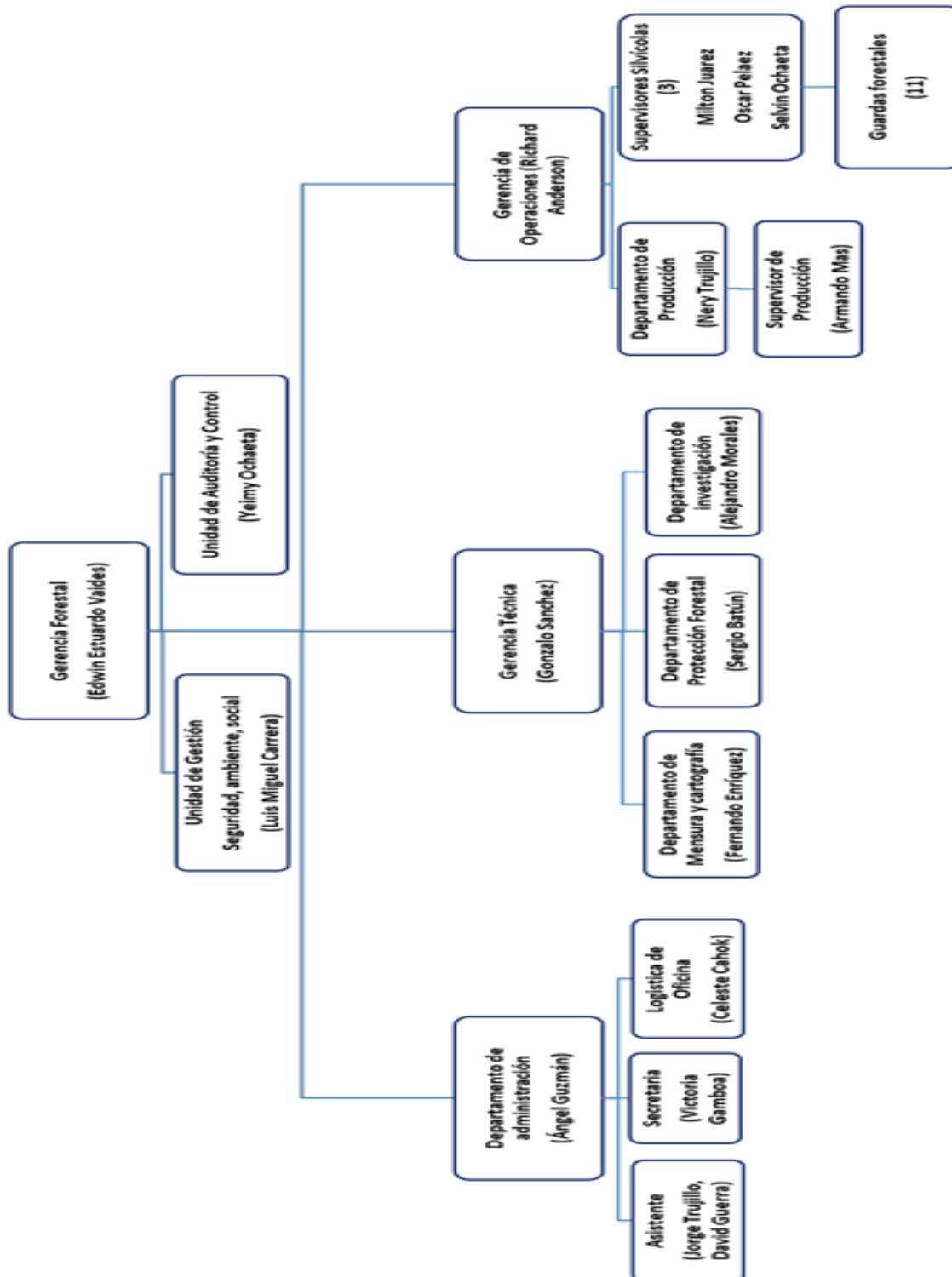
$E$  = Error absoluto.

$E\%$  = Error relativo.

$t_{\alpha/2, n-m}$  = Distribución de t de student.

$Li$  = Límite inferior;  $Ls$  = Límite superior.

## 10.5 Organigrama de la empresa reforestadora donde se efectuó la práctica



**10.6 Levantamiento de parcelas de muestreo en plantaciones de 3 años de edad y medición de variables directas e indirectas.**



Establecimiento de parcela de muestreo, con una estaca con nylon amarillo en el centro y toma de datos de variables indirectas en la plantación de la Finca 135, Las Cruces.



Plantación 2013, Finca 138, La Libertad, Petén.



Medición de altura a una distancia de 15 m desde la base del árbol y medición de DAP en la Finca 135, Las Cruces, Petén.



Supervisión para ver la calidad de siembra en la Finca 1, Las Cruces, Petén.