



**FACULTAD DE POSTGRADO  
TESIS DE POSTGRADO**

**APORTE DE CRÉDITOS DE CARBONO EN LA  
RENTABILIDAD DEL MANEJO DE PLANTACIONES DE  
*Tectona grandis*, FINCA CUYAMAPA**

**SUSTENTADO POR:  
RUDY SAID HERNÁNDEZ ARITA  
JULIO ALBERTO BAIDE LARIOS**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS**

**TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS, C.A.**

**ABRIL, 2014**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA  
UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**LUIS ORLANDO ZELAYA MEDRANO**

**SECRETARIO GENERAL**

**JOSÉ LÉSTER LÓPEZ PINEL**

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

**MARLON ANTONIO BREVÉ REYES**

**DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO**

**DESIREE TEJADA**

**APORTE DE CRÉDITOS DE CARBONO EN LA  
RENTABILIDAD DEL MANEJO DE PLANTACIONES DE  
*Tectona grandis*, FINCA CUYAMAPA**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN:  
ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS**

**ASESOR METODOLÓGICO  
JUAN JACOBO PAREDES HELLER**

**ASESOR TEMÁTICO  
TANIA TERESA NAJARRO**

**MIEMBROS DE LA TERNA:  
HENRY ANDINO  
FRANCISCO MONDINO  
CINTHIA CANO**



## FACULTAD DE POSTGRADO

### APORTE DE CRÉDITOS DE CARBONO EN LA RENTABILIDAD DEL MANEJO DE PLANTACIÓN DE *Tectona grandis*, FINCA CUYAMAPA

#### AUTORES:

**Rudy Said Hernández Arita y Julio Alberto Baide Larios**

## RESUMEN

El cambio climático, tiene grandes impactos en todos los países del mundo. Existen mecanismos y medidas de mitigación diseñadas para mitigar esta problemática como el Protocolo de Kioto y los mercados de carbono. El fin de la investigación fue calcular la rentabilidad de la certificación de créditos de carbono en 153.80 hectáreas de plantación de *Tectona grandis* en la Finca Cuyamapa para compensar la diferencia entre los gastos e ingresos del manejo de la plantación, durante los primeros diez años de edad, a través de la comercialización de estos créditos en el mercado voluntario de carbono. Se estudió la plantación y el procedimiento de certificación, evaluando financieramente tres escenarios: uno sin la certificación, con la certificación a partir del año cinco, a partir del año doce. La alternativa propuesta fue la certificación a partir del año cinco, por su rentabilidad y contribución a la imagen empresarial y de país. La aplicabilidad incluye el procedimiento y presupuesto de certificación y especificaciones técnicas del mismo.

**Palabras claves:** Almacenamiento y fijación de carbono, Mercado de carbono, Plantación forestal, *Tectona grandis*.



## **CONTRIBUTION OF CREDIT BONDS ON THE PROFITABILITY OF THE FORESTRY MANAGEMENT OF THE *Tectona grandis* PLANTATION, FINCA CUYAMAPA**

### **AUTHORS:**

**Rudy Said Hernández Arita & Julio Alberto Baide Larios**

### **ABSTRACT**

Climate change has great impact on every country on the planet; there are measures, such as the Kioto Protocol and carbon credit markets, to mitigate this effect. The purpose of this study was to estimate the carbon market's certification profitability of 153 ha of *Tectona grandis* plantation, to compensate the cost and income deficit of Finca Cuyamapa, City of Catacamas, Olancho, during the first ten years of operation, through participation in the voluntary carbon market. The plantation and market's certification process were studied, and three investment alternatives were evaluated: one without certification, certification on the fifth year, and on the twelfth year. The proposed alternative was certification on the fifth year, because of its profitability, and its contribution to the company's and country's identity. Finally, a work plan, budget and technical requirements for the certification process are included.

**Key words:** Carbon market, Carbon storage and absorption, Forest plantations, *Tectona grandis*

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi abuelo Oscar Arita, quien incondicionalmente y de manera constante me impulsó a superarme, escalando ahora un peldaño más en mi vida profesional.

A mi madre Delmy Arita por su gran esfuerzo y apoyo, que me hicieron llegar a esta etapa en mi vida.

A mis hermanos y sobrinos, para que esta meta que Dios me está permitiendo alcanzar, sea una motivación de superación personal y profesional.

**Rudy Hernandez**

A mi madre, hermanas, sobrinos, Elena y la memoria de mi padre Julio A. Baide San Martin.

**Julio Baide**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios en primer lugar, por estar siempre conmigo proveyendo la fortaleza y valentía de seguir adelante.

A mi madre por su incondicional amor y apoyo además de sus consejos y motivación para alcanzar esta nueva etapa en mi vida.

A mi abuelo Oscar, por todos y cada uno de sus consejos, enseñanzas y principios compartidos a lo largo de mi vida.

A Carmen Rojas y Vilma Rojas por su grande e incondicional apoyo durante mi proceso de formación académica como Máster.

**Rudy Hernandez**

A mi madre, esposa, hermanas, sobrinos, Elena y la memoria de mi padre Julio A. Baide San Martin por todo su apoyo.

**Julio Baide**

Agradecimiento especial a nuestros asesores Jacobo Paredes y Tania Najarro por su valioso apoyo y contribuciones.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN .....	7
1.5.1 HIPÓTESIS .....	7
1.5.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	9
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	11
2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	11
2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE.....	12
2.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	14
2.2.1 MACRO ENTORNO .....	14
2.2.2 MICRO ENTORNO.....	21
2.2.3 ENTORNO INTERNO .....	26
2.3 TEORÍAS.....	26
2.3.1 CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO .....	27
2.3.2 LAS PLANTACIONES Y EL MANEJO FORESTAL.....	28
2.4 METODOLOGÍAS E INSTRUMENTOS.....	29
2.4.1 CÁLCULO DE CARBONO EN BIOMASA FORESTAL .....	29
2.4.2 CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO FORESTAL .....	30
2.4.3 PROYECTOS FORESTALES EN LOS MERCADOS DE CARBONO.....	31



<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>38</b>
3.1 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS .....	38
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
3.3.1 POBLACIÓN .....	40
3.3.2 MUESTREO PRELIMINAR .....	41
3.3.3 MUESTRA.....	41
3.3.4 UNIDAD DE ANÁLISIS.....	43
3.3.5 UNIDAD DE RESPUESTA .....	44
3.3.6 TECNICAS E INSTRUMENTOS .....	44
3.3.7 PROCEDIMIENTO .....	46
3.4 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	51
3.4.1 FUENTES PRIMARIAS .....	52
3.4.2 FUENTES SECUNDARIAS.....	52
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>53</b>
4.1 estimACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LAS PLANTACIONES	53
4.1.1 BIOMASA AÉREA Y VOLUMEN DE MADERA.....	53
4.1.2 CONTENIDO DE CARBONO Y ABSORCIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	54
4.2 Cálculo de rentabilidad .....	56
4.2.1 MANEJO Y COMERCIALIZACIÓN DE PLANTACIÓN.....	57
4.2.2 CERTIFICACIÓN DE BONOS DE CARBONO EN PLANTACIÓN....	57
4.2.3 COMPARACIÓN DE ESCENARIOS DE INVERSIÓN .....	58
4.3 PROCEDIMIENTO de CERTIFICACIÓN de carbono FORESTAL .....	59
4.3.1 IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE CERTIFICACIÓN.....	60
4.4 Importancia de la certificación de finca cuyamapa .....	60
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
5.1 Conclusiones .....	61
5.2 Recomendaciones.....	62
<b>CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD .....</b>	<b>64</b>
6.1 PROCEDIMIENTO PARA la certificación .....	64
6.2 Presupuesto para la certificación.....	66

6.3 especificaciones técnicas .....	67
-------------------------------------	----

**BIBLIOGRAFÍA 69**

**ANEXOS 77**

Anexo 1. <i>Glosario de términos y definiciones</i> .....	77
Anexo 2. <i>Siglas, símbolos y acrónimos</i> .....	79
Anexo 3. <i>Formulario para registro de datos de campo</i> .....	80
Anexo 4. <i>Cuestionario de entrevista dirigida</i> .....	81
Anexo 5. <i>Coordenadas geográficas parcelas de muestreo</i> .....	82
Anexo 6. <i>Resultados de muestreo preliminar</i> .....	83
Anexo 7. <i>Flujo de inversión, escenario 1 (Sin certificación)</i> .....	84
Anexo 8. <i>Flujo de inversión, escenario 2 (Certificación en año 12)</i> .....	86
Anexo 9. <i>Flujo de inversión, escenario 3 (Certificación en año 5)</i> .....	88
Anexo 10. <i>Distribución t-Student</i> .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Descripción de las variables de investigación. ....</i>	8
<i>Tabla 2. Descripción de los GEI considerados en el PK .....</i>	19
<i>Tabla 3. Principales estándares del MVC a proyectos forestales.....</i>	32
<i>Tabla 4. Clasificación de proyectos de Certificación de bonos de carbono.....</i>	35
<i>Tabla 5. Resumen de los costos y tiempos de la transacción para estándar VCS.....</i>	36
<i>Tabla 6. Medidas de tendencia central y variación calculadas en la investigación.....</i>	42
<i>Tabla 7. Resultados de las medidas de variación obtenidas en el pre-muestreo.....</i>	43
<i>Tabla 8. Estimación de volumen madera de Tectona grandis en Finca Cuyamapa.....</i>	53
<i>Tabla 9. Cálculo de la absorción de dióxido de carbono a partir del ICA .....</i>	55
<i>Tabla 10. Comparación de indicadores financieros de escenarios de inversión .....</i>	59
<i>Tabla 11. Costos del proceso de certificación de Plantación de Teca finca Cuyamapa</i>	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Comparación de gastos e ingresos de manejo de Teca a los 10 años de edad</i>	4
<i>Figura 2. Relación entre variable dependiente e independientes en la investigación.....</i>	9
<i>Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de Finca Cuyamapa.....</i>	12
<i>Figura 4. Ciclo del carbono.....</i>	20
<i>Figura 5. Certificados de plantaciones forestales extendidos por el ICF.....</i>	25
<i>Figura 6. Ciclo de proyectos MDL .....</i>	33
<i>Figura 7. Diagrama del enfoque y métodos de investigación empleados.....</i>	39
<i>Figura 8. Ubicación de área de plantaciones en la finca Cuyampa .....</i>	46
<i>Figura 9. Distribución geográfica de parcelas de pre-muestreo .....</i>	47
<i>Figura 10. ICA y crecimiento en altura de Tectona grandis para sitio Clase II .....</i>	56
<i>Figura 11. Cronograma de acreditación e implementación al VCS .....</i>	66

# **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se muestran los componentes del planteamiento de la investigación, con el propósito de lograr un completo análisis del problema a tratar. Se incluye en este capítulo: la introducción al problema, antecedentes, el enunciado del problema, así como también se definen las preguntas de investigación y los objetivos a comprobar exponiendo además, la importancia del problema en estudio describiendo con detalle a los pasos para desarrollarlo.

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El fenómeno de cambio climático, provocado por el calentamiento global, es uno de los principales temas de interés científico en la actualidad, debido al impacto que el mismo tiene en los países de todas las latitudes. Esto se debe principalmente a sus impactos de tipo económico, social y ambiental. Desde el punto de vista económico y social, los impactos de los fenómenos climáticos ponen en riesgo la integridad física de las poblaciones, sus bienes, su productividad y amenazan su seguridad alimentaria. Desde la perspectiva ambiental, la problemática es analizada en función de la pérdida de los ecosistemas (particularmente los polares), pérdida de biodiversidad, aumento del nivel medio del mar, la producción agrícola, etc.

Estudios han revelado que la causa principal de este calentamiento global, es el efecto invernadero, producido por el incremento de ciertos gases en la atmosfera llamados gases de efecto invernadero (GEI), que han ocasionado una mayor retención del calor proveniente de los rayos solares, además de severos daños en la capa de ozono (O<sub>3</sub>), que es la que protege la superficie terrestre del Sol.

A fin de contrarrestar esta situación, se han desarrollado mecanismos para lograr la participación de los países industrializados y los no industrializados en proyectos de mitigación y adaptación al cambio climático. Estos proyectos se basan en la reducción de emisiones de GEI que ayuden a mitigar el impacto del cambio climático, y a su vez impulsen las economías y el desarrollo sostenible. Las principales medidas adoptadas

para este fin, son políticas gubernamentales para regular las industrias y el consumo de combustibles fósiles. Otras formas de combatir la problemática comprenden el impulso de proyectos que contribuyan a reducir las emisiones de GEI, o la captura de estos gases, en especial el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los países no industrializados no tienen la responsabilidad de reducción de emisiones, pero sus contribuciones pueden ser remuneradas.

La presente investigación se desarrolló en el marco de la alternativa de fijación de carbono en las plantaciones forestales de *Tectona grandis* (Teca) de 10 años de edad localizadas en la Finca Cuyamapa en el Municipio de Catacamas, Departamento de Olancho, como alternativa económica para mejorar la rentabilidad del manejo del cultivo, mediante la comercialización de bonos de carbono.

## **1.2 ANTECEDENTES**

La problemática del Calentamiento Global, ha generado en los países en vías de desarrollo una serie de oportunidades negocios a través de la participación en mercados internacionales de carbono a través de la reducción o absorción de emisiones mediante proyectos que paralelamente impulsen desarrollo sustentable (FAO, 2010a). Las transacciones de carbono se pueden hacer mediante dos vías: los mercados regulados y los voluntarios.

En el caso de los mercados regulados la comercialización de logra a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) con estándares de cumplimiento definidos en el Protocolo de Kioto (SGCAN, PNUMA & AECI, 2007). El mercado voluntario se enfoca en iniciativas empresariales que representan, por encima de prácticas lucrativas, mejoramiento de imagen y/o prestigio, como la responsabilidad social, apoyo en la protección de bosques naturales, forestación y reforestación ecológica, etc. (FAO, 2010a) y (Samayoa, 2011).

Considerando esta oportunidad de generación de nuevos ingresos en los modelos de rentabilidad de los proyectos de plantaciones forestales, se plantea el potencial de

comercialización de las absorciones de dióxido de carbono en los mercados creados para estas transacciones. El proyecto Bosques Cuyamapa, propiedad de la empresa Agropecuaria Cuyamapa y es miembro del Grupo AGROLIBANO, dedicado al rubro del sector agropecuario en especial la horticultura, fruticultura, acuicultura, avicultura y ganadería (Alvarez, 2014).

Dado que la principal área de acción del Grupo comprende la zona Sur de Honduras, en 2003, se decidió realizar un cambio de uso del suelo en el área de la Finca Cuyamapa, ubicada en el Municipio de Catacamas, Departamento de Olancho (Zona Oriental), de agropecuario a forestal, mediante el desarrollo del proyecto Bosques Cuyamapa, el cual consistió en el establecimiento de plantaciones de maderables de alto valor comercial, lo anterior a que las inversiones en el manejo de este cultivo, en especial los requerimientos operativos, son menores que las diferentes actividades antes desarrolladas.

El área total de plantaciones es de 224 hectáreas, de las cuales 197 corresponden a la especie *Tectona grandis* (Teca) en lotes de diferentes edades. Las demás especies plantadas son: Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), Melina (*Gmelina arborea*), Caoba africana (*Khaya senegalensis*), Cedro espino (*Bombacopsis quinata*) y Carreto (*Albizia sp.*) (AGROLIBANO, 2014). En 2003, se iniciaron las actividades para el establecimiento de las plantaciones forestales empleando fondos propios de la empresa e impulsado en parte por el Plan Nacional de Reforestación, que contempla la inversión del 1% del Presupuesto Nacional en esta actividad. La plantación objeto de estudio de esta investigación, comprende un lote de 153.80 hectáreas de la especie *Tectona grandis* de 10 años de edad.

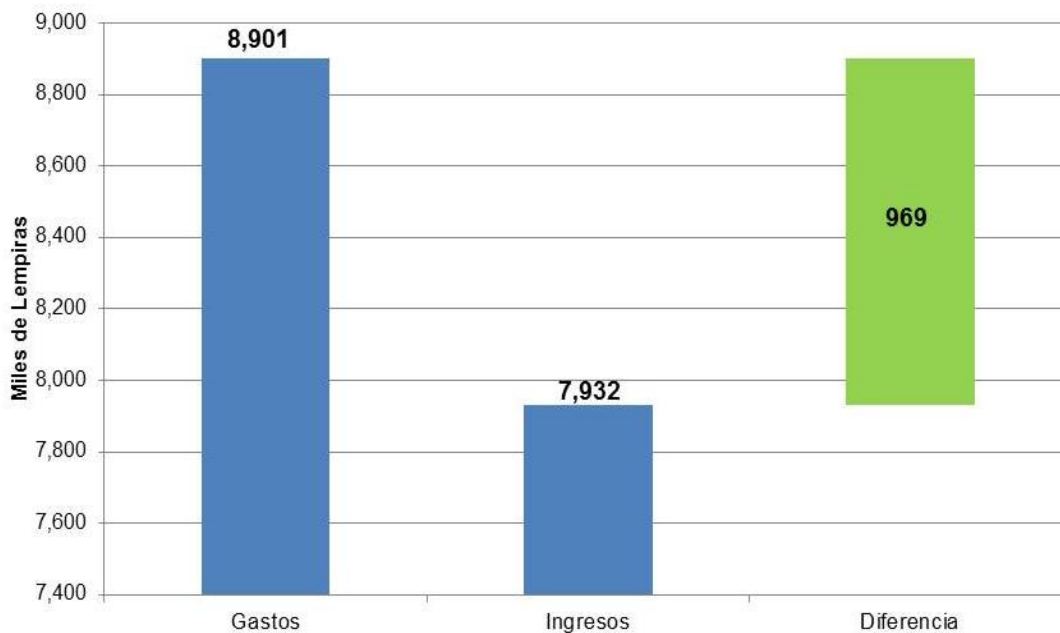
### **1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Se plantea en esta sección la problemática relacionada con los costos de manejo de las 153.80 ha de plantaciones de *Tectona grandis* a través del enunciado, formulación y planteamiento de la pregunta de investigación.

### 1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La implementación de prácticas de manejo forestal sostenible (IFM – Improved Forestry Management, por sus siglas en inglés), en las plantaciones forestales representan elevados costos en el establecimiento y más importante aún en el manejo de la plantación, especialmente durante los primeros 5 a 10 años, periodo en el que no se generan ingresos o éstos son muy limitados puesto que corresponden únicamente a la venta de productos y subproductos obtenidos de madera joven de diámetros menores.

En el caso de la Finca Cuyamapa, la inversión en las Plantaciones de *Tectona grandis* a los diez años de edad, es de un cercano a los 8.90 millones de Lempiras, reflejando una diferencia que apenas supera los 0.95 millones en relación a los ingresos (Figura 1). Los recursos invertidos en esta etapa son indispensables para la ejecución de actividades determinantes para el aseguramiento del prendimiento, desarrollo y la calidad de los árboles. Entre las principales actividades destacan las limpieas, fertilización, prevención de incendios, podas, raleos, caminos, gastos administrativos, entre otros.



**Figura 1.** Comparación de gastos e ingresos de manejo de Teca a los 10 años de edad



En relación a lo anterior, muchos inversionistas de este rubro no ejecutan estas actividades poniendo en riesgo la plantación por incendios y/o plagas, limitan el desarrollo de los árboles, se afecta la calidad de la madera, entre otras. Como medida compensatoria, se plantea la evaluación de viabilidad de certificación de bonos de carbono como alternativa para la generación de ingresos para sufragar estos gastos y con ello mejorar la rentabilidad, reduciendo las probabilidades e impacto de los riesgos asociados, considerando el potencial de fijación de carbono en la biomasa de esta área plantación no está siendo aprovechado.

### **1.3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Con el fin de mejorar los ingresos de las plantaciones forestales para recuperar esta inversión durante los primeros años a través de la emisión de certificados de carbono, se requiere conocer la rentabilidad de la implementación del proceso de certificación por fijación y almacenamiento. Para lograr lo anterior, se requiere evaluar el comportamiento del modelo financiero de esta plantación forestal mediante el ingreso de dos nuevas variables: a) Ingresos percibidos por tonelada de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>) fijada y b) Costos de implementación del proceso de certificación.

En base a lo antes referido, se formula la siguiente interrogante:

¿Cuál es aporte de la certificación de bonos de carbono en la rentabilidad del manejo de la plantación de *Tectona grandis* de diez años de edad, en la Finca Cuyamapa, Municipio de Catacamas, Departamento de Olancho?

### **1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Las siguientes preguntas sirvieron de referencia como guía en el proceso de investigación para el desarrollo del proyecto y se respondieron a lo largo del mismo.

- 1) ¿Cuánto es el stock de carbono contenido en la biomasa de las plantaciones de *Tectona grandis* de la Finca Cuyamapa?

- 2) ¿Cuál es el potencial de fijación de carbono de las plantaciones de *Tectona grandis* de la Finca Cuyamapa?
- 3) ¿Cuál es la diferencia entre la rentabilidad económica de la plantación sin la certificación de bonos de carbono y con la implementación del proceso?
- 4) ¿Cuál es el procedimiento para certificación de bonos de carbono que mejor se adapta a las condiciones de las plantaciones de *Tectona grandis* de la Finca Cuyamapa?

## **1.4 OBJETIVOS**

A continuación se detallan los objetivos generales y específicos del proyecto, que fueron la base para el desarrollo del mismo; los objetivos se deben tener definidos claramente y presentes a lo largo del desarrollo de todo el proyecto.

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general orienta la investigación del proyecto y permite mantener una constante de referencia en el trabajo a ejecutarse. Se plantea a continuación el objetivo general de la investigación:

“Estimar el aporte de la certificación de bonos de carbono por fijación, en la rentabilidad del manejo de las plantaciones de *Tectona grandis* de diez años de edad en la finca Cuyamapa, en Catacamas, Departamento de Olancho.”

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Con el propósito de alcanzar el objetivo general planteado anteriormente se formularon los siguientes objetivos específicos:

- 1) Cuantificar el stock de carbono y la capacidad de fijación, en la biomasa de las plantaciones de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa.
- 2) Describir un procedimiento para la implementación del proceso de certificación de bonos de carbono por almacenamiento y fijación, en plantaciones forestales.
- 3) Calcular la rentabilidad económica de las plantaciones de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa con y sin certificación de bonos de carbono.
- 4) Identificar y valorar beneficios adicionales generados por la certificación de bonos de carbono en las plantaciones de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa.

## **1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

A continuación se presentan las hipótesis y variables de investigación del proyecto:

### **1.5.1 HIPÓTESIS**

El planteamiento de las hipótesis se basó en la relación beneficio-costos, así como otros beneficios ambientales y sociales, de la certificación de bonos de carbono en las plantaciones de diez años de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa. Las hipótesis muestran lo que se trata de probar con la investigación, y son las posibles explicaciones del fenómeno investigado.

$H_0$ : La certificación de bonos de carbono no incrementa la rentabilidad del manejo de la plantación de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa.

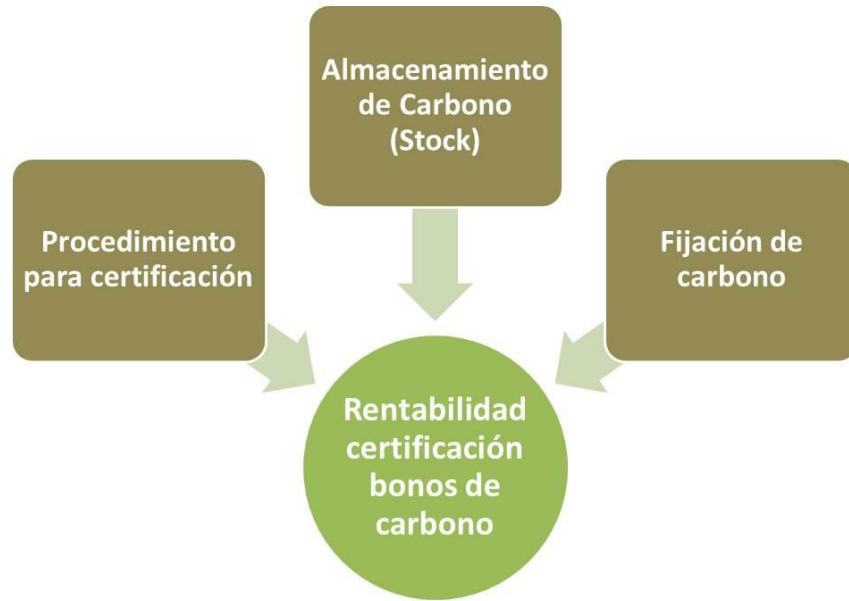
$H_1$ : La certificación de bonos de carbono incrementa la rentabilidad del manejo de la plantación de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa.

## 1.5.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Partiendo del objetivo de la investigación, la variable dependiente es la factibilidad de la certificación de bonos de carbono por almacenamiento y fijación en las plantaciones de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa (Figura 2). Esta variable está sujeta a los valores calculados de las variables independientes: cantidad de carbono retenido en la biomasa forestal, precios de los certificados de fijación de carbono y los costos de certificación. En la Tabla 1, se describen las variables objeto de estudio de la presente investigación.

**Tabla 1.** Descripción de las variables de investigación.

Variable	Definición Conceptual	Unidad de medición	Indicador
Almacenamiento de carbono (stock)	Esta dada por relaciones de densidad que brindarán valores totales	<b>ton/m<sup>3</sup></b> (toneladas métricas por metro cúbico)	Carbono contenido en la madera
		<b>ton/ha</b> (toneladas métricas por hectárea)	Carbono contenido por unidad de área
		<b>ton</b> (Toneladas métricas)	Carbono total de la plantación
Fijación de carbono	Capacidad de absorción de carbono por los árboles, calculada en función del Incremento Medio Anual (IMA)	<b>ton/ha/año</b> (toneladas métricas por hectárea por año)	Carbono captado por la plantación en el tiempo por unidad de área.
Metodología de certificación	Procedimiento de por el cual se accede a los mercados de carbono, está sujeta a estándares	<b>US\$ / tCO<sub>2</sub></b>	Costo de implementación
Rentabilidad	Corresponde al rendimiento de la utilidad de la inversión sobre los activos y las ventas	La rentabilidad fue medida en función de tres indicadores.	<b>TIR (%)</b> <b>VAN (L.)</b> <b>C/B</b> (relación entre los costos e ingresos de la plantación)



**Figura 2.** Relación entre variable dependiente e independientes en la investigación

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

Los proyectos de carbono forestal tanto MDL como los del mercado voluntario, ofrecen muchos beneficios económicos, ambientales y sociales; no solo para los propietarios de las plantaciones, sino para el planeta, y específicamente para las regiones donde se desarrollan los proyectos (PNUD, 2010). Estos proyectos pueden ser elementos importantes para alcanzar las metas del milenio y promover el desarrollo sostenible, contribuyendo con la generación de empleo y aportando con la reducción del calentamiento global.

Con respecto a los proyectos MDL forestales, CATIE (2008) plantea:

“Por generarse en el sector uso de la tierra, tienen el potencial de mejorar el nivel de vida de las personas que viven en pobreza extrema en el sector rural, y aún más, mejorar su capacidad para reponerse de los impactos del cambio climático. Además, bien diseñados, pueden contribuir a revertir procesos de

degradación ambiental como la desertificación y mejorar la conectividad de paisajes en beneficio de la biodiversidad y los ecosistemas” (p. 1).

A nivel mundial, el mercado de proyectos MDL forestales no ha sido aprovechado al máximo. En valor, el comercio de créditos forestales representó, en 2008, 25 millones de Euros (€), cuando el mercado global de los créditos provenientes de proyecto representó 4,807 millones de €. Estas cifras indican que este sector todavía se encuentra extremadamente subexplotado, especialmente respecto de su potencial (Chenost, *et. al.*, s.f.).

Las economías de los países en vías de desarrollo, dependen en gran medida de la explotación de los recursos naturales de que disponen. En Honduras, de acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF, 2013), el 59% del territorio nacional está cubierto por bosque, de esta superficie 357,721 hectáreas corresponden a bosques naturales bajo manejo forestal y 18,831 son plantaciones forestales certificadas ante esta institución, estas representan únicamente el 0.28% del territorio nacional con cobertura boscosa y apenas el 5.26% de la superficie bajo manejo forestal.

El adecuado manejo de las plantaciones forestales conlleva elevados costos operativos que disminuyen la rentabilidad de los procesos productivos cuando son con fines comerciales, puesto que los plazos de retorno de inversión suelen ser largos (15 – 30 años). Con el fin de identificar mejores oportunidades para el desarrollo de estos negocios, se busca evaluar el aporte de la certificación de bonos de carbono por almacenamiento y fijación en las plantaciones de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa, incorporando mediante este proceso no solo ingresos adicionales en el modelo financiero, sino que también la implementación de mejores prácticas de manejo, requeridas para la certificación, que permitan reducir los plazos de retorno e identificar beneficios adicionales que pueda generar la implementación de este proceso.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

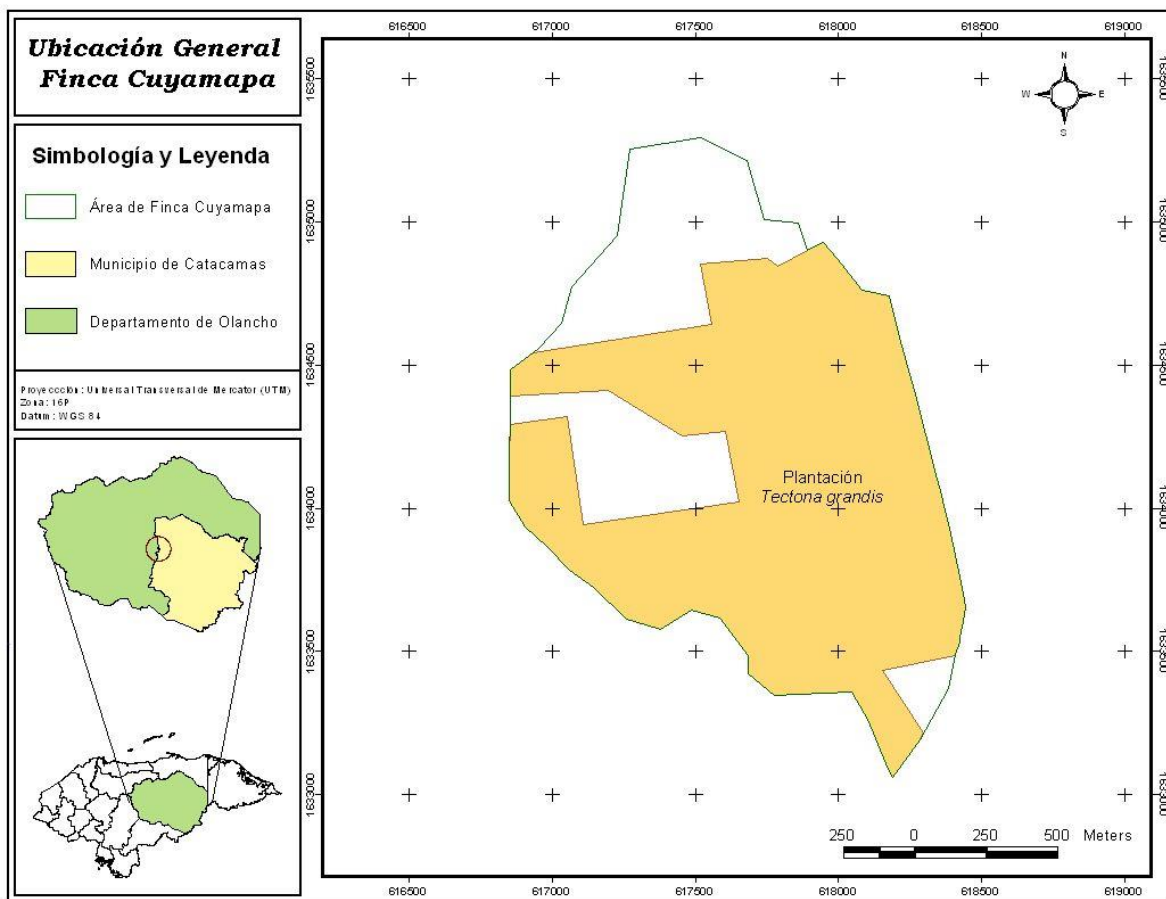
Planteado el problema, se presenta a continuación la descripción del área de estudio y la sustentación teórica del mismo, mediante las ponencias y análisis de conceptualizaciones y perspectivas de autores con que han realizado investigaciones similares definiendo conceptos y validando procedimientos.

### **2.1 ÁREA DE ESTUDIO**

En esta sección se describen los aspectos del área de estudio, partiendo de la localización geográfica del sitio, las características de la plantación y la descripción de la especie objeto de estudio.

#### **2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El sitio del área de las plantaciones se encuentra ubicada la aldea Cuyamapa, localizada aproximadamente a 11 km al Sur de la ciudad de Catacamas, en el Municipio de Catacamas, Departamento de Olancho en la región Oriental de Honduras (Figura 3). La superficie de la finca comprende 224 hectáreas de plantaciones forestales de diferentes especies y edades de las cuales 197, son de la especie *Tectona grandis* (AGROLIBANO, 2014). Como objeto de estudio, fueron consideradas únicamente las plantaciones de *Tectona grandis* de 10 años de edad, las que comprenden una superficie de 153.80 ha (Figura 8).



**Figura 3.** Mapa de ubicación geográfica de Finca Cuyamapa

## 2.1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

### 2.1.2.1 TAXONOMÍA

La taxonomía es la ciencia a través de la cual se organizan los seres vivos en grupos para una clasificándolos según sus características fenotípicas y genotípicas. Salazar & Albertin (1974), Weber (1993) y Chaves (1991), detallan la clasificación taxonómica de la teca, ubicándola en la familia botánica **Verbenaceae**, dentro del género **Tectona** y su epíteto **grandis** con los nombres comunes Teca y Teak (en inglés).



### 2.1.2.2 DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

La especie es originaria del Sudeste asiático (Weber, 1993), específicamente de Birmania, Tailandia y algunos sectores de la India (Salazar & Albertin, 1974 y Chaves, 1991). En el continente americano, fue introducida por primera vez en Trinidad y Tobago, de donde fue distribuida a otros países (Chaves, 1991). Es una de las especies exóticas de alto potencial económico en la Región de América Central (Salazar & Albertin, 1974).

La Teca es cultivada en la región para la producción de leña, postes para cerca y madera para construcción, preferida por su rápido crecimiento, calidad de la madera (durabilidad y fácil de trabajar) y el árbol tiene usos múltiples en campo: cerca viva, barreras rompe viento, sistemas agroforestales, etc., (Chaves, 1991). Salazar y Albertin (1974) agregan que para el cultivo de la especie, la fertilidad del suelo no es un factor determinante, sin embargo *Tectona grandis* es muy exigente en suelo profundos, bien drenados y de poca elevación. En cuanto a clima, esta especie es intolerable a heladas y puede resistir hasta 5 meses de sequía (Salazar & Albertin, 1974).

### 2.1.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL ÁRBOL Y LA MADERA

Es un árbol caducifolio de gran tamaño, alcanzando alturas de hasta 45 m (Weber, 1993) aunque Chaves (1991) expone que su altura puede llegar a 50 m de altura y 2 m de diámetro y en América Central ha alcanzado alturas superiores a los 30 m. Debido a su gran tamaño, el fuste desarrolla contrafuertes o gambas para un mejor soporte en el suelo (Weber, 1993). El fuste es recto y corteza delgada de color café claro desprendible en placas grandes; sin olor o sabor característico (Chaves, 1991). Quizá la característica más destacada de la especie son sus hojas de gran tamaño. Chaves (1991) expone que pueden alcanzar dimensiones desde 11 hasta 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, con pecíolos gruesos opuestas en las ramillas.

La madera de *Tectona grandis* es de albura amarillenta y duramen de color verde oliva, tornándose café al cortarse. Es de dureza moderada, pesada y con anillos de

crecimiento claramente identificables (Chaves, 1991). Adicional a la facilidad de trabajar, la madera presenta buena estabilidad dimensional, durabilidad natural con alta resistencia al ataque de termitas y hongos así como a la permanencia en la intemperie.

## **2.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

A continuación se presenta un análisis global y específico entorno a al proceso de certificación de créditos de carbono en plantaciones forestales, partiendo del origen de esta iniciativa hasta la aplicación de la misma en la plantaciones de *Tectona grandis* de la Finca Cuyamapa.

### **2.2.1 MACRO ENTORNO**

#### **2.2.1.1 CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO.**

El cambio climático es un proceso natural llevado a cabo por los cambios constantes en la órbita de la Tierra, los movimientos de las placas tectónicas y la actividad humana, las que alteran los patrones de comportamiento del clima (Samayoa, 2011). Las variaciones en la temperatura de la Tierra han generado desde climas cálidos hasta eras glaciares, sin embargo estas variaciones extremas se han reducido en las recientes décadas presentando una estrecha relación con la actividad antropogénica (Porrúa, 2001). Entre las variables climáticas más susceptibles destacan los incrementos de las temperaturas de la atmosfera, el suelo y lo océanos, cambios los regímenes pluviales, frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos y otros que impactan significativamente los hábitos de la vida en el planeta (CEPAL, 2010).

El clima del planeta es regulado por la atmósfera, por una parte, protegiendo del impacto directo de los rayos solares en la corteza mediante la capa de ozono (O<sub>3</sub>), evitando el sobrecalentamiento de la misma. Por otra parte, la composición química de la atmosfera permite conservar el calor en el lado del planeta que no está expuesto al Sol, evitando con ello el descenso brusco de la temperaturas que pueden llegar bajo cero grados Celsius (0 °C) (Porrúa, 2001). Esta conservación del calor, es posible por

los gases de efecto invernadero (GEI) presentes, los que son generados de forma natural y también por la acción del hombre (Najarro & Samayoa, 2009).

Desde finales del siglo XIX (era industrial) la temperatura de la Tierra ha sufrido un acelerado incremento proporcional al incremento de las concentraciones de los GEI (IPCC, 2007a). Este incremento de la temperatura del planeta es conocido como "calentamiento global", habiéndose incrementado en 0.6 grados Celsius (°C) (Bennaceur, *et. al.*, 2005/2005). Por su abundancia, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es considerado el GEI más importante (IPCC, 2007<sup>a</sup> & Bennaceur, *et. al.*, 2005/2005).

Las altas concentraciones de este gas, son generadas principalmente por las actividades humanas entre las que destacan la quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, industria y el transporte (56.6%); la deforestación (cambio de uso del suelo), y las quemaduras de bosques y sabanas (IPCC, 2007a). En este mismo informe, el IPCC también reveló que otros GEI como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) también han presentado incrementos originados principalmente por la agricultura y ganadería.

En respuesta a la problemática del cambio climático, se han tomado una serie de iniciativas y acuerdos internacionales en donde los países participantes han suscrito compromisos para su mitigación. Muchos son los proyectos que pueden generar reducciones/remociones de emisiones de GEI, y recibir un reconocimiento monetario por este servicio, entre ellos: los forestales y de bioenergía. Estos proyectos pueden ser elementos importantes de una estrategia para alcanzar metas del milenio y promover el desarrollo en países en desarrollo (CATIE, 2008). En los convenios suscritos, la responsabilidad en la reducción de los GEI, recae sobre los países desarrollados, no para los países en vías de desarrollo, como Honduras. Sin embargo, las contribuciones de estos países, pueden ser remuneradas por los países desarrollados.

Uno de los principales esfuerzos para mitigar el calentamiento global, es la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992 la que crea en 1997 el Protocolo de Kioto (PK), ratificado en 2004 y entra en vigor

en 2005, en donde los países del mundo reconocieron el problema del calentamiento global y acordaron hacer esfuerzos para reducirlo (IPCC, 1998). “El objetivo de la convención es estabilizar las emisiones de GEI a un nivel que prevenga interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático. Se estableció que la meta se alcanzaría en un plazo que permita que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, que asegure que la producción de alimentos no se vea amenazada y que garantice las condiciones para el desarrollo sostenible” (CATIE, 2008).

El PK es una adición al documento de la convención en la cual se establecen explícitamente metas cuantificadas de reducción de GEI para un grupo de países comprendidos en el Anexo B del protocolo (aproximadamente el Anexo 1 de la convención). La meta del PK es “lograr que el total de las emisiones de dichos países alcance un nivel inferior en no menos de 5% a las del año 1990, en el período de compromiso comprendido entre los años 2008 y 2012” (UNFCCC 1997a). Bajo el PK, en el primer período de cumplimiento los países en desarrollo no tienen compromisos cuantificados de reducción, pero pueden participar voluntariamente en la reducción de emisiones (UNFCCC, 1997c) (CATIE, 2008).

El PK contempla tres mecanismos en los cuales pueden tener participación mediante la ejecución de proyectos que permitan reducir las emisiones o la fijación de CO<sub>2</sub>, estos son el Comercio de Emisiones, la Implementación Conjunta y los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) (SGCAN, PNUMA & AECI, 2007; FAO, 2010a y Samayoa, 2011). Los MDL es el mecanismo que incluye los países en vías de desarrollo (SGCAN, PNUMA & AECI, 2007). Los MDL se orientan al desarrollo de proyectos con fines productivos que contribuyan al desarrollo sustentable, por ejemplo: generación de energía a partir de fuentes renovables, eficiencia energética, plantaciones forestales comerciales, producción más limpia, entre otros (FAO, 2010a y Samayoa, 2011).

Teniendo el impulso del desarrollo sostenible de los países, el PK da origen a las *emisiones reducidas* las que comprenden el total de GEI que se deja de generar, abriendo nuevas formas de generación de ingresos mediante la creación del mercado

de carbono en el que se pueden comercializar estas emisiones a través de los certificados de reducción de emisiones o bonos de carbono (Najarro & Samayoa, 2009).

#### 2.2.1.2 MECANISMO PARA UN DESARROLLO LIMPIO

El mercado del carbono está determinado por el compromiso de los países que han adquirido la obligación de reducir emisiones y las personas o empresas que ejecutan proyectos que contribuyen a mitigar el cambio climático (López U. , 2009). En su guía de proyectos MDL, López también explica la división del mercado de carbono en: 1) el mercado regulado y 2) el mercado voluntario.

La participación en el mercado voluntario, no requiere cumplimiento de los acuerdos y compromisos de reducción de emisiones establecidas en el PK, puesto que se refiere a iniciativas implementadas en las empresas orientadas en la protección y cuidado del ambiente. Estas actividades se desarrollan, generalmente en el marco de la Responsabilidad Social Empresarial (RSE), en las que se busca principalmente mejorar la imagen corporativa de la organización (López, 2009; FAO, 2010a y Samayoa, 2011).

En cambio, el mercado regulado desarrolla en el marco del PK y se orienta al cumplimiento de las metas de reducción y limitación de emisiones establecidas por los países firmantes (López U. , 2009). El PK ha establecido tres mecanismos para la comercialización de la reducción de emisiones: a) Comercio de derechos de emisión, b) Implementación conjunta y c) Mecanismo de desarrollo limpio (MDL) (IPCC, 1998; López, 2009 y Najarro & Samayoa, 2009).

El mecanismo para un desarrollo limpio (MDL) surge como una alternativa para los países en desarrollo de participar mediante iniciativas de proyectos sostenibles, en el proceso de reducción y limitación de emisiones de dióxido de carbono. Estas transacciones se basan en la compensación de emisiones de GEI en un país por la reducción de emisiones en otro país donde se ejecuta un proyecto de desarrollo que ayude a mitigar el cambio climático. Puesto que estas iniciativas son parte del mercado regulado, cada una de estas debe ser certificada por las entidades operacionales

designadas por la conferencia, a fin de que su participación mediante un determinado proyecto le permita percibir beneficios por su contribución a la mitigación del cambio climático (IPCC, 1998 y López 2009).

De acuerdo con la estadísticas del año 2012, referentes al mercado del carbono y los proyectos MDL, recopiladas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2013), en el mundo, el 65% de los proyectos registrados corresponden a energías renovables. El resto son proyectos de reducción de emisiones, eficiencia energética, etc., siendo apenas el 0.8%, el correspondiente a actividades de forestación y reforestación. América Latina, cuenta con el 15% de los proyectos MDL registrados en todo el planeta, los que equivalen a 584, de estos proyectos, 21 se han desarrollado en Honduras.

#### 2.2.1.3 IMPORTANCIA DEL CO<sub>2</sub> EN EL CALENTAMIENTO GLOBAL

El potencial de GEI del CO<sub>2</sub> es bajo al compararse con los otros gases (Tabla 2), sin embargo su importancia radica en las altas concentraciones y cantidades de emisiones que se generan anualmente por las actividades humanas (Bennaceur, *et. al.*, 2004/2005). Lo anterior, expresado en términos numéricos, es manifiesto en el total de emisiones globales de CO<sub>2</sub> en 2001, las que llegaron a 21 mil millones de toneladas métricas, generadas por la quema de petróleo con sus derivados, gas natural y carbón y se estima que para el 2025 podrían superar las 35 mil millones de la misma fuente. Dado que el CO<sub>2</sub>, es el GEI más abundante y el más conocido, las estimaciones de reducción de emisiones de cualquiera de los otros gases, se expresa en dióxido de carbono equivalente según lo establecido en el Protocolo de Kioto (1998).

La unidad de medida para el monitoreo de las emisiones es la *tonelada de dióxido de carbono equivalente* (tCO<sub>2</sub>e) para proyectos de reducción de GEI y tCO<sub>2</sub> para proyectos de biomasa. Estas unidades de medición, se han estandarizado para la verificación del cumplimiento de los acuerdos establecidos de reducción de las emisiones incluso de los otros GEI (Najarro & Samayoa, 2009).

Los GEI considerados más importantes en el PK, son 6 y fueron listados en el Anexo A del mismo. Su importancia está determinada el impacto en el incremento de la temperatura del planeta y las alteraciones de los patrones climatológicos. Es medio a través del índice de poder de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés) calculado a partir del CO<sub>2</sub> (Enguren C., 2004). En la Tabla 2, se describen los 6 GEI y su poder de calentamiento global, los primeros tres se generan naturalmente en el ambiente sin embargo, las actividades humanas han contribuido significativamente en el aumento de los mismos, los demás son producto las actividades industriales.

**Tabla 2.** Descripción de los GEI considerados en el PK

Gas de Efecto Invernadero (GEI)		Descripción	Origen	GWP	Proporción de GEI
Nombre	Símbolo				
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	Gas natural producto de la respiración y combustión	Combustión hidrocarburos y carbón, procesos industriales y cambios de uso del suelo,	1	76.6%
Metano	CH <sub>4</sub>	Gas natural generado por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica	Minería de carbón, ganadería, rellenos sanitarios, extracción de gas y petróleo	21	14.3%
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	Origen natural e industrial, recientemente empleado en automovilismo	Elaboración de fertilizantes y combustión de derivados del petróleo	296	7.9%
Hidrofluorocarbonados	HFCs	Refrigerante de origen industrial	Usado en refrigeración y aires acondicionados	1,300	1.1% Gases - F-
Perfluorocarbonados	PFCs	Introducido como alternativa de los CFC y HFC	Procesos industriales,	6,500 a 9,200	
Hexafluoruro de Azufre	SF <sub>6</sub>	Empleado como aislante eléctrico en equipos de alto voltaje	En la producción de magnesio y desecho de equipos eléctricos	22,000	

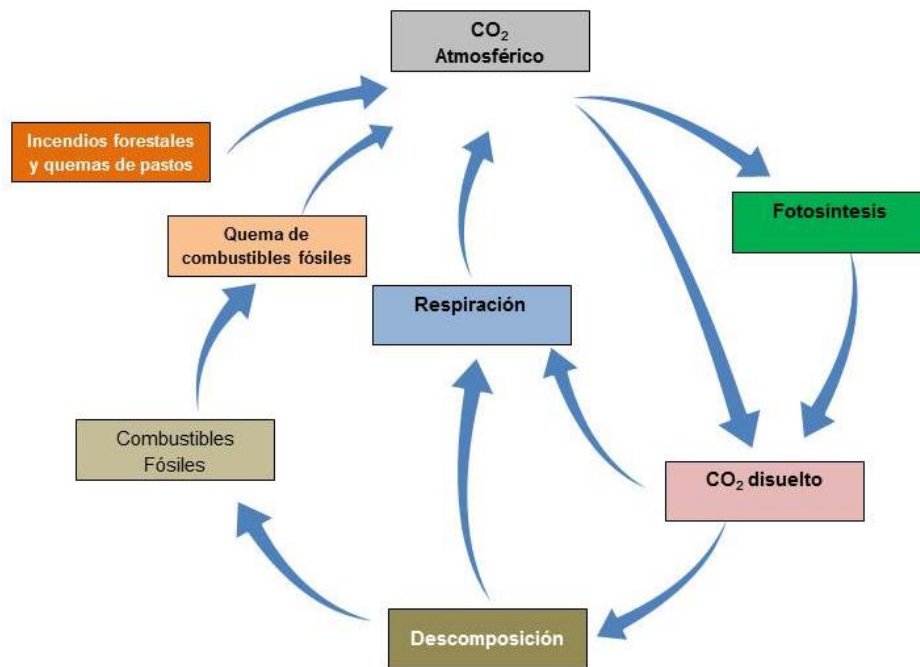
*Fuente: (IPCC, 2007 y Enguren C., 2004)*

Dado que el CO<sub>2</sub>, es el compuesto que ocupa la mayor proporción de GEI, las acciones desarrolladas para mitigar el cambio climático, están en función de este reducir principalmente las emisiones de este gas a través de alternativas que impulsen el

desarrollo de los países, principalmente en el marco de los MDL y el los MVC. Entre los MDL destacan los proyectos de generación de energía a partir de fuentes renovables, cogeneración y eficiencia energética y en lo MCV, las ONGs están propiciando la conservación y preservación de los bosques naturales como sumideros de carbono.

#### 2.2.1.4 FUNCIÓN DE LOS BOSQUES

El papel de la vegetación, principalmente los bosques, es crucial en la regulación del clima, puesto que son parte fundamental del ciclo natural del carbono, las plantas lo toman del CO<sub>2</sub> atmosférico, a través del proceso de fotosíntesis (Ecuación 1), incorporándolo en sus tejidos, al suelo (descomposición) y a los animales a través de la alimentación de estos. Finalmente el carbono regresa a la atmosfera producto de la respiración animal y vegetal en forma de CO<sub>2</sub> (FAO, 2010b) (Figura 4).



Fuente: (FAO, 2003)

**Figura 4.** Ciclo del carbono.



Las actividades agropecuarias y el cambio de uso del suelo tienen una contribución significativa en el incremento de los GEI dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (FAO, 2010b). Entre 1850 y 1998, por el cambio de uso de la tierra, se han emitido aproximadamente 136 Giga toneladas (Gt C) de carbono aumentando las concentraciones de CO<sub>2</sub> de 285 a 366 partes por millón (ppm) (IPCC, 2000). En su informe más reciente, el IPCC (2007b) expone que entre el 18% y 20% de las emisiones globales antropogénicas de CO<sub>2</sub>, es aportada por la deforestación y la degradación de los bosques.

El 57% del total de emisiones globales (aproximadamente 230 Gt C) fueron fijadas o secuestradas por los bosques y el resto (43%), aún permanecen en la atmósfera. De esta manera, el IPCC (2000) estimó para finales de 1998, un aproximado de 2,477 Gt C almacenadas en los bosques y el suelo del planeta con 466 y 2,011 Gt C respectivamente. Lo anterior deja en manifiesto el impacto de los bosques en la regulación de las concentraciones del CO<sub>2</sub> atmosférico, no solo desde la perspectiva de las emisiones sino que también por la fijación y almacenamiento. Considerando este potencial, el desarrollo e implementación de proyectos MDL forestales, crea espacios de participación para los pequeños y medianos productores de los países en desarrollo que han ratificado el PK.

## **2.2.2 MICRO ENTORNO**

El análisis de micro entorno, presentado en esta sección, describe los mecanismos, políticas y avances de Honduras ante al cambio climático y el potencial existente en el país para proyectos forestales.

### **2.2.2.1 HONDURAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

La importancia del cambio climático tiene implicaciones globales, es por ello que en la mayor parte de los gobiernos se han tomado acciones orientadas a contrarrestar o mitigar esta problemática adoptando modelos de desarrollo económico sostenible con

prácticas que impliquen menor consumo de recursos, gestión de desechos comunes y peligrosos, reducción de emisiones de GEI, entre otros.

En ese sentido, en 2010, se crea la Estrategia Nacional de Cambio Climático de Honduras (ENCC) mediante Decreto No. PCM-022-2010 de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). La ENCC tiene como propósito fundamental, abordar los asuntos relacionados con la problemática del cambio climático, identificación de causas, evaluación de los impactos en la economía, la sociedad y el ambiente, así como también la creación de estrategias y planes para la implementación de medidas de mitigación y adaptación de mediano y largo plazo, por lo que su aplicación está contemplada en el Plan de Nación 2010-2022 y en la Visión del País 2010-2038 (SERNA, 2010a).

La evaluación del impacto del cambio climático en Honduras se está midiendo en función de la vulnerabilidad del país ante las eventualidades climatológicas como las sequías e inundaciones evaluando los riesgos actuales y potenciales que conlleva para la seguridad de la población así como el efecto sobre los procesos de desarrollo económico (Argeñal, 2010). Desde la perspectiva ambiental, también se considera el impacto del cambio climático sobre los ecosistemas hondureños y su efecto sobre los bosques y la diversidad.

En un contexto más amplio, la SERNA presentó una forma de análisis de la vulnerabilidad desde siete enfoques: “1) recursos hídricos; 2) agricultura, suelos y seguridad alimentaria; 3) bosques y biodiversidad; 4) sistemas marino-costeros; 5) salud humana; 6) gestión de riesgos y 7) energía hidroeléctrica” (SERNA, 2010b, p. 12). Las metas y los lineamientos estratégicos para la implementación de las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático están plasmados en 15 objetivos orientados a definir la Política Marco de Cambio Climático en el marco del Plan de Nación y Visión de País.

Bajo el enfoque de bosques y biodiversidad, los lineamientos estratégicos planteados, buscan asegurar la protección de los recursos forestales mediante la implementación

de programas y planes de investigación, conservación y preservación de especies vulnerables, prevención y control de incendios y plagas forestales así como también evitar la deforestación y degradación de los bosques y apoyar las iniciativas de restauración de y rehabilitación de áreas dañadas (SERNA, 2010b).

La deforestación evitada y las actividades de restauración de ecosistemas degradadas surgen como una oportunidad para desarrollar nuevos proyectos sostenibles que permitan la generación de ingresos por la comercialización del servicio o producto, sino que también mediante un reconocimiento de pago por servicios ambientales (PSA) (Herrán, 2012). Estos PSA constituyen una nueva forma de obtener beneficios directos e indirectos de los ecosistemas, que se pueden comercializar en los mercados regulados y los mercados voluntarios del carbono creados en el PK.

De acuerdo con estudio de la FAO (2003), la capacidad de fijación de carbono en las áreas potenciales de ese momento (line base) fue de 107.19 millones de toneladas de carbono proyectadas a 2012. Con el desarrollo de proyectos MDL el estimado de fijación de carbono en Honduras es de 233.68 millones de toneladas en una superficie de 1.47 millones de hectáreas que corresponden al 13% de las superficie del país. Sin embargo el potencial de comercialización del país, puede llegar a 56 millones de toneladas de carbono.

Teniendo en cuenta la capacidad de fijación de los suelos y bosques hondureños, es que se pueden desarrollar transacciones con proyectos de forestación y reforestación con plantaciones de maderables y otros usos, actualmente establecidas en Honduras y certificadas en el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF). Las actividades mediante las cuales se pueden establecer bosques con intervención humana son regeneración inducida y las plantaciones con las que se pueden recuperar terrenos degradados y protección de zonas productoras de agua (FAO, 2003).

En Julio de 2008, la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, mediante el Programa Nacional de Cambio Climático, desarrollo el documento: “Segundo Inventario

de Emisiones y Sumideros de Gases Efecto Invernadero en Honduras Año 2000. El estudio llega a la siguiente conclusión con respecto a los GEI: “De los GEI el Dioxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) fue el que se generó en mayor volumen para el año 2000, específicamente en los sectores de energía con un 46% (3,204.00Gg) y cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura con un 40% (2,826.86Gg).

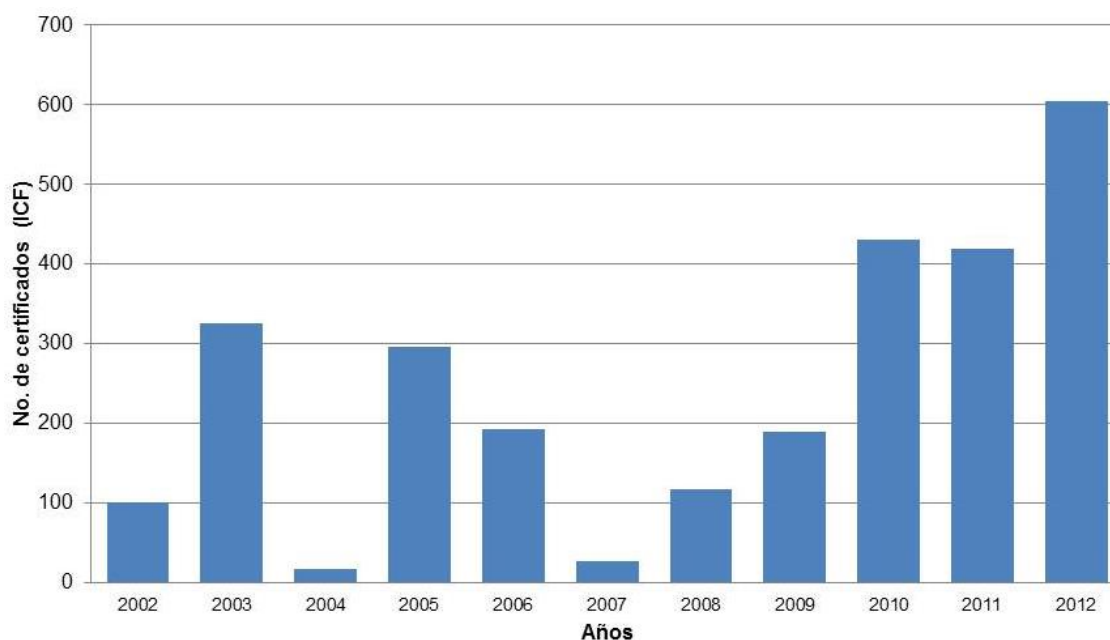
Honduras cuenta con 21 proyectos MDL, 19 de ellos se han registrado al año 2011 y son del tipo de generación de energía eléctrica, de acuerdo con los datos de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA, 2011), añadiéndose dos más en 2012, entre los que se menciona el proyecto “Parque Eólico Cerro de Hula”, pero ninguno de tipo forestal. El desarrollo de cultivos forestales no se considera una atractiva forma de inversión para generar ingresos por los productores, debido a los largos plazos de retorno de la inversión así como la incertidumbre que ha generado el marco jurídico en cuanto a la utilización de estos cultivos.

No obstante lo expuesto en el párrafo anterior, las tendencias y las nuevas estrategias de incentivos a la forestación y reforestación con fines comerciales llevadas a cabo por el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), han alentado a pequeños y grandes productores a establecer plantaciones con fines comerciales a través de la certificación de las mismas ante la institución. Esto ha permitido hacer uso de los productos obtenidos, de esta manera y de acuerdo a las estadísticas del ICF (2013), se ha generado una tendencia al incremento del registro y certificado de plantaciones, llegando a 2,716 sitios de plantaciones en el año 2012.

En este contexto y aunado a los mecanismos de certificación de fijación y almacenamiento de carbono, las oportunidades para Honduras de incursionar en este mercado a través de los cultivos forestales, se abren creando espacios para mejorar los ingresos por los productores percibidos puesto que crea un escenario financiero más atractivo.

### 2.2.2.2 LAS PLANTACIONES FORESTALES EN HONDURAS

Honduras posee una orografía muy particular caracterizada por la presencia de zonas montañosas y topografía quebrada, haciendo el 87% del territorio de vocación forestal con potencial para el desarrollo de proyectos forestales orientados a mitigar el cambio climático (SRE, 2011). De acuerdo con los registros del ICF, el 59% del territorio nacional (6.598 millones de hectáreas) se encuentra cubierto por bosque. De esta superficie, más de 532.37 mil hectáreas se encuentran bajo un régimen de manejo forestal de las que se calcula obtener un volumen anual de madera de 855.91 mil metros cúbicos (ICF, 2013). En cuanto a las plantaciones forestales comerciales certificadas en ICF, se ha tenido una tendencia al incremento de las mismas durante los últimos 5 años (Figura 5), habiendo alcanzado en 2012, un total de 2,716 certificados extendidos.



Fuente: ICF, 2012

**Figura 5.** Certificados de plantaciones forestales extendidos por el ICF

Estas plantaciones se han establecido en un área de 18,830.59 hectáreas (plantación en bloques) y en una longitud de 649.8 km (plantación en linderos). Esta superficie

representa el 3.5% de la superficie boscosa bajo manejo forestal (ICF, 2013) y apenas el 1.3% del área con potencial para proyectos de fijación de carbono identificadas por la FAO en 2003, las que aún no se han incluido en un proceso de certificación de bonos de carbono por almacenamiento y fijación. En las plantaciones forestales establecidas en el país, se han empleado 52 especies, de las cuales *Swietenia macrophylla* (Caoba del Atlántico) es el más abundante con el 24.2% y *Tectona grandis* (Teca) representa el 9.5% del número de árboles de plantaciones certificadas en ICF (ICF, 2013).

### **2.2.3 ENTORNO INTERNO**

El proyecto Bosques Cuyamapa, miembro del Grupo AGROLIBANO y fue desarrollado en la Finca Cuyamapa, ubicada en el Municipio de Catacamas, Departamento de Olancho (Zona Oriental de Honduras). La finca consta de una superficie de plantaciones de 224 hectáreas, de las cuales 197 corresponden a la especie *Tectona grandis* (Teca) en lotes de diferentes edades.

La fotosíntesis es el proceso metabólico de las plantas verdes, a través del cual se produce la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico incorporando el carbono en los tejidos y liberando oxígeno molecular (O<sub>2</sub>). A partir de este proceso se considera el potencial de las 153.8 hectáreas de plantaciones de *Tectona grandis* de 10 años de edad de la Finca Cuyamapa, para fijar y almacenar grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Estas plantaciones fueron desarrolladas empleando fondos propios de la empresa e impulsado en parte por el Plan Nacional de Reforestación, que contempla la inversión del 1% del Presupuesto Nacional. La plantación objeto de estudio de esta investigación, comprende un lote de 153.80 hectáreas de la especie *Tectona grandis* de 10 años de edad.

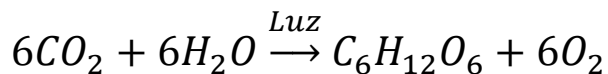
## **2.3 TEORÍAS**

Esta sección contiene la información que sustenta esta investigación y comprende investigaciones desarrolladas anteriormente en temática relacionada.

### 2.3.1 CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO

La fijación de carbono es uno de los procesos llevados a cabo por las plantas como parte del ciclo de este elemento en la naturaleza. La fijación del carbono es llevada a cabo por medio de la fotosíntesis, la cual es el proceso el metabólico que consta de la reacción química del CO<sub>2</sub> atmosférico, captado a través de las hojas, con el agua obtenida por medio de las raíces produciendo compuestos de hidratos de carbono como la glucosa que es la base para la formación de otros compuestos como la xilosa, celulosa, etc., que constituyen la biomasa de las plantas (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009). Por otra parte el resultado de esta reacción produce oxígeno molecular el cual es liberado a la atmósfera, tal como se muestra en la Ecuación 1.

**Ecuación 1.** *Reacción química de la fotosíntesis.*



Donde:

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

H<sub>2</sub>O: Agua

C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>: Glucosa

O<sub>2</sub>: Oxígeno molecular

Según lo expone Ortega, García, Ruíz, Sabogal, & Vargas (2010), el carbono en las masas boscosas es almacenado en 5 compartimentos, estos son la biomasa aérea, biomasa subterránea, la hojarasca, madera muerta y el carbono orgánico en el suelo. La biomasa aérea está comprendida por los troncos, ramas, hojas flores y frutos; la subterránea es el sistema radicular y las otras formas constituyen la necromasa (materia en descomposición) y la hojarasca, es la materia sobre la superficie del suelo. Todo el carbono contenido tanto en la biomasa arborícola como la del suelo en sus

diferentes formas, es lo que se conoce como stock natural de carbono (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009).

### **2.3.2 LAS PLANTACIONES Y EL MANEJO FORESTAL**

El manejo forestal comprende un conjunto de técnicas y herramientas para controlar el comportamiento del crecimiento del bosque con el fin de obtener un producto o servicio deseado. Para lograr este objetivo, se requiere de una serie de estudios que permitan caracterizar el área de trabajo en cuanto a composición florística, edad, dimensiones, crecimiento, cantidades y tipo de productos que se pueden obtener, entre otros. El manejo forestal, se acompaña del ordenamiento, el cual contempla el agrupamiento geográfico de las masas forestales en función de sus características de edad, especie, composición y otras, así como también por el tamaño del área de estudio, topografía, suelo, altitud e incluso el clima. De esta manera se busca dividir toda la cubierta de bosque irregular en pequeñas áreas homogéneas más fáciles de controlar.

El manejo forestal sostenible y la implementación de mejores prácticas de manejo son las exigencias sociopolíticas de la actualidad, con las que se busca generar no solo mejores ingresos económicos, sino que también la aceptación social y la perpetuidad del recurso que se está utilizando. Mediante estas prácticas se busca proteger el suelo, la diversidad, la calidad del recurso forestal, fenotipos/genotipos, zonas productoras de agua, etc.

Las técnicas y prácticas de manejo forestal son implementadas tanto en bosques naturales como en artificiales (plantaciones), en ambos casos los periodos de las cosechas de los productos esperados se conoce como ciclos de producción, turnos de cosecha o rotación y su duración e intensidad varía de acuerdo con la (s) especies, tipo de producto o servicios a obtener, etc. Por lo anterior, Gadow, Sánchez, & Aguirre (2004) definen tres sistemas de manejo forestal en función de los turnos de cosecha:



- 1) *Sistema de turno o rotación*: es el más común, empleado generalmente en bosques coetáneos (plantaciones comerciales y regeneración natural inducida). La cosecha comprende toda la masa boscosa del área estipulada.
- 2) *Sistema de explotación esporádica*: aplicable mayormente en bosques latifoliados, los periodos de extracción son irregulares y se buscan los individuos de las especies con mayor valor comercial del área bajo manejo.
- 3) *Sistema de cubierta forestal continúa*: se basa en cosechas selectivas, generalmente en bosques naturales disetáneos latifoliados o coníferas. La corta comprende únicamente los árboles iguales o mayores a un diámetro establecido.

## **2.4 METODOLOGÍAS E INSTRUMENTOS**

Las metodologías e instrumentos descritas en esta sección fueron las consideradas en esta investigación consideran las desarrolladas y validadas para inventarios forestales, estimaciones de biomasa y cálculo de absorción de dióxido de carbono por los ecosistemas forestales. También son consideradas en esta sección, los mercados de carbono, estándares de certificación y metodologías para implementación del proceso.

### **2.4.1 CÁLCULO DE CARBONO EN BIOMASA FORESTAL**

Las estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales y plantaciones forestales se realizan a manera de densidades expresadas en toneladas de biomasa por hectárea (t/ha) y en toneladas de carbono por hectárea (t C/ha). Estos cálculos son realizados directa o indirectamente obteniendo los valores de las masas de la materia seca (Fonseca, Alice y Rey, 2009; Salas e Infante, 2006; López, De Koning, Paredes y Benítez, 2002; Acosta, Vargas, Velásquez y Etchevers, 2002). De manera directa a partir de análisis destructivos de los individuos completos, los que analizados en laboratorio para la obtención de los resultados (Fonseca, Alice y Rey, 2009).

Las estimaciones indirectas de biomasa se realizan mediante el análisis de muestras de laboratorio empleados en los cálculos de factores de conversión de volumen a peso seco para hacer inferencias mediante relación de variables (Fonseca, Alice y Rey,

2009; Acosta, Vargas, Velásquez y Etchevers, 2002). El método indirecto, también comprende la inferencia de datos a partir de la relación entre variables medibles como el diámetro a la altura del pecho (DAP: 1.3 m del suelo), empleado como variable independiente en las funciones matemáticas (ecuaciones alométricas) para calcular cantidad de biomasa pudiendo extrapolar los resultados a toda el área del proyecto forestal (Acosta, Vargas, Velásquez, & Etchevers, 2002).

De manera generalizada, las estimaciones de biomasa y carbono, también se pueden realizar mediante equivalencias estandarizadas que establecen que: una (1) tonelada de biomasa forestal posee aproximadamente 0.5 toneladas de carbono (t C) y por su parte, 1 t C, equivale a 3.67 toneladas de dióxido de carbono (t CO<sub>2</sub>); estas estimaciones son calculadas a partir de los pesos moleculares del C y del CO<sub>2</sub> (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2009). Estas equivalencias generales son empleadas en bosques naturales primarios o secundarios, sin embargo para su uso en plantaciones, en las que generalmente es una sola especie se requiere la implementación de ajustes de factores de expansión de biomasa, debido a la particularidad morfológica (Salas e Infante, 2006).

Debido a que la forma de los árboles y la densidad de la madera son diferentes, las cantidades de biomasa y carbono varían en función de la especie, el clima y el suelo, siendo estos factores los que determinan el comportamiento del crecimiento del bosque. Por lo anterior Reynolds *et al*, (2000) citado por Salas e Infante (2006), recomiendan que las ecuaciones para el cálculo de biomasa y carbono sean particulares para cada proyecto forestal empleando cualquiera de los métodos de estimación de biomasa.

#### **2.4.2 CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS DE CARBONO FORESTAL**

En el marco del PK, los proyectos forestales elegibles como MDL son la forestación y reforestación de zonas degradadas, cambios de uso del suelo con enfoque a sistemas agroforestales y/o plantaciones forestales, etc. (Till & Henders, 2007). De manera

similar, Ortega, García, Ruíz, Sabogal, & Vargas (2010) y Rüginitz, Chacón, & Porro (2009) han agrupado estos proyectos de carbono forestal en tres formas de gestión:

- 1) *Reducción de emisiones de GEI*: evitar la deforestación y cambio de uso del suelo. Ej.: REDD
- 2) *Captura de carbono*: mediante la forestación y reforestación. Ej.: proyectos elegibles como MDL dentro del PK y REDD+.
- 3) *Sustitución de carbono*: Producción más limpia. Ej.: uso de biocombustibles (leña, etanol, etc.).

La gestión del carbono forestal a través de la captura y almacenamiento, es una de las alternativas con mucho potencial que en la actualidad no se está explotando por causa de no contar con procedimientos claramente definidos que encierren los procesos, que sean de fácil implementación y además no sea tan costos.

### **2.4.3 PROYECTOS FORESTALES EN LOS MERCADOS DE CARBONO**

El mercado de carbono es el Sistema creado para la compra y venta de los certificados de reducción de emisiones de GEI (CER). En estas transacciones participan países, empresas o personas a través de dos licencias: derechos de emisión y certificados de reducción de emisiones (ProChile, 2012). Adicionalmente Chenost, *et. al.* (s.f.), exponen que existen 3 mercados principales para las transacciones de bonos o créditos de carbono: el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones – European Emissions Trading Scheme por sus siglas en inglés (EU-ETS); la Bolsa del Clima de Chicago – Chicago Climate Exchange (CCX) y el Esquema de Reducción de Gases de Efecto Invernadero – Greenhouse Gas Abatement Scheme (GGAS).

Las transacciones de créditos de carbono provenientes de proyectos, se encuentran divididos en dos grupos, los pertenecientes a los mercados regulados y los mercados voluntarios (SGCAN, PNUMA & AECI, 2007; Chenost, *et. al.*, s.f. y ProChile, 2012). El PK ha establecido tres mecanismos para la reducción de emisiones para los países firmantes del mismo: Comercio de Emisiones, Implementación Conjunta y MDL, siendo

éste último el incluyente de países en desarrollo (SGCAN, PNUMA & AECI, 2007). Puesto que estos mecanismos fueron definidos por el PK, son considerados estándares regulados y están sujetos al cumplimiento de las metas de reducción de emisiones y/o transacciones establecidas en dicho tratado (Chenost, *et. al.*, s.f. y CATIE, 2008).

Los mercados regulados, fueron definidos en el PK en los que participan los países que ratificaron el mismo contemplados en los anexos I y II con obligaciones de cumplimiento de compromisos establecidos. El PK ha establecido dos estándares para los mercados regulados (Chenost, *et. al.*, s.f. y ProChile, 2012). Sin embargo, para poder comercializar créditos de carbono bajo un esquema más abierto, países y empresas han desarrollado la Reducción Voluntaria de Emisiones (VER, por sus siglas en inglés), en donde el mercado es controlado por estándares voluntarios que aseguran la adecuada implementación de prácticas especialmente proyectos forestales (Chenost, *et. al.*, s.f.). En la Tabla 3, se listan los principales estándares de certificación créditos de carbono que incluyen proyectos forestales, en el mercado voluntario (MVC).

**Tabla 3. Principales estándares del MVC a proyectos forestales.**

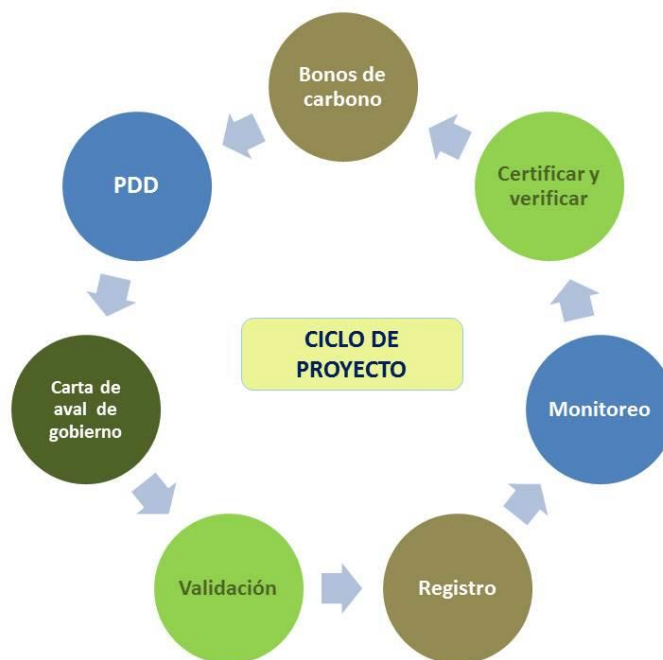
Sigla	Significado		Descripción	Aplicabilidad
	Español	Inglés		
VCS	Estándar Voluntario de Carbono	Voluntary Carbon Standard	Busca crear espacio para proyectos de no permanencia a través de puesta en reserva	Proyectos AR, IFM, REDD, libre participación
CAR	Registro de Acción Climática de California	Climate Action Registry	Conjunto de estándares para proyectos de carbono forestal	Únicamente en el estado de California, Estados Unidos
CFS	Carbon Fix Standard		Absorciones por proyectos con lugar en el futuro	Proyectos forestales AR
Plan Vivo			Conjunto de estándares utilizados para proyectos de PSA	Forestación, Agroforestal, conservación de bosques, restauración y deforestación evitada
CCBs	Estándares de Clima, Biodiversidad y Comunidad	Climate Community & Biodiversity Standard	Se interesa principalmente en beneficios sociales y ambientales generados por el proyecto.	Únicamente a proyectos forestales. No entrega créditos
CCX	Bolsa del Clima de Chicago	Chicago Climate Exchange	Creado inicialmente como mercado de carbono. Condiciones flexibles de participación que MDL	Proyectos AR, IFM, REDD y proyectos maderables

*Fuente:* adaptado de Chenost, *et. al.*, s.f.

Cada uno de estos estándares de certificación, presentan un potencial escenario de aplicación. Chenost, *et. al.* (s. f.), sugiere que para incursionar en los mercados de carbono voluntario, es necesario optar por más de uno de estos estándares puesto que garantizan de manera con mayor transparencia el cumplimiento de lo establecido, además los mercados están expandiendo los proyectos mediante inclusión de nuevas medidas (Peters-Stanley & Hamilton, 2012).

#### 2.4.3.1 CICLO DE PROYECTOS Y PARTICIPANTES

Para todo tipo de proyecto de certificación de bonos de carbono, existe un procedimiento estandarizado a seguir (Figura 6), desarrollado específicamente para los MDL en los mercados regulados. No obstante este este mismo ciclo, ha sido adoptado por el mercado voluntario de carbono (Samayoa, 2011).



Fuente: (Samayoa, 2011; Najarro & Samayoa, 2009)

**Figura 6.** Ciclo de proyectos MDL

Los globos azules corresponden a las actividades del ciclo de proyecto que realiza la empresa u organización que solicita la certificación (proponente), en verde oscuro el ente gubernamental (SERNA en Honduras), en verde claro la entidad operacional designada y en color café la junta directiva o autoridad del máxima autoridad de estándar (Najarro & Samayoa, 2009).

Los proyectos de pequeña escala presentan algunas modalidades simplificadas para llevar a cabo las actividades establecidas en el ciclo de proyectos (CATIE, 2008; Najarro y Samayoa, 2009 y Samayoa, 2011) y que se describe a continuación:

- 1) *Nota de idea de proyecto (PIN, por sus siglas en inglés)*. Es un documento corto opcional que incluye los aspectos generales, el potencial y la forma en que un proyecto puede contribuir a la reducción y captura de emisiones de GEI.
- 2) *Documento de diseño del proyecto (PDD, por sus siglas en inglés)*. Es un documento básico, obligatorio y en el idioma inglés que describe el proyecto. El PDD incluye los datos generales del proyecto, la metodología de línea de base y monitoreo y contiene la consulta pública de identificar de los beneficios sociales.
- 3) *Carta de aval gubernamental*. Es un documento firmado por la autoridad nacional designada (AND). Este documento hace constar la participación voluntaria del país y la contribución del proyecto al desarrollo sostenible. es diferente de los permisos ambientales y demás licencias de la legislación nacional aplicable.
- 4) *Validación*. Es la evaluación independiente de un proyecto MDL, en la que se demuestra su viabilidad ambiental, social y económica. La validación la debe realizar un tercero sin participación en los pasos anteriores denominado entidad operacional designada (EOD).
- 5) *Registro*. El registro es la aceptación formal del proyecto.
- 6) *Negociación del contrato*. La venta de los bonos de carbono se hace a través de un Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones (ERPA, por sus siglas en inglés), en el cual se establece el tipo de negociación, los términos legales de cumplimiento, definición de la propiedad de los bonos de carbono, quién y cómo se enfrentan los riesgos, las condiciones de compra y venta, la moneda de pago, fechas de pago y entrega de los créditos de carbono, entre otros elementos.

- 7) *Implementación y monitoreo.* Es la puesta en marcha del proyecto. El monitoreo es la vigilancia y medición sistemática del rendimiento del proyecto, a fin de medir o calcular la cantidad de reducción/secuestro de emisiones.
- 8) *Verificación y certificación.* La verificación es la revisión periódica e independiente en la que se comprueba que las reducciones de emisiones son reales y medibles. A las emisiones reducidas verificadas se les llama VER (por sus siglas en inglés). La verificación es llevada a cabo por una entidad operacional designada.
- 9) *Emisión de CER.* Es la entrega de los bonos de carbono para el período de acreditación. Sucede después de que la Junta Directiva del MDL o la autoridad máxima de los estándares, recibe el reporte de certificación.

#### 2.4.3.2 CLASIFICACIÓN DE PROYECTOS SEGÚN TAMAÑO

Los proyectos en el mercado de carbono, se clasifican en cinco categorías en función de la cantidad de emisiones de dióxido de carbono reducido o absorbido en un año expresadas en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e) para proyectos de reducción de GEI y tCO<sub>2</sub> para proyectos de biomasa. En la Tabla 4, se muestra esta clasificación de los proyectos según su tamaño y la participación en los mercados de carbono.

**Tabla 4.** *Clasificación de proyectos de Certificación de bonos de carbono*

Tamaño	Rango de emisiones (tCO <sub>2</sub> e / año)			Participación en el mercado
Micro	Menores de	5,000		3%
Pequeños	De	5,000	a 19,999	5%
Medianos	De	20,000	a 99,999	23%
Grandes	De	100,000	a 500,000	38%
+Grandes	Superiores a	500,000		31%

(Samayoa, 2011)

Como se observa en la Tabla 4, la participación de los microproyectos en el mercado del carbono cubre apenas un 3% del mismo, sin embargo los proyectos grandes ocupan las primeras posiciones en la comercialización de créditos de carbono.

### 2.4.3.3 COSTOS Y TIEMPOS DE LA TRANSACCIÓN

Los costos de transacción son los costos adicionales de un proyecto que se originan a partir de su participación en el mercado de carbono y que corresponden al ciclo de proyectos (Samayoa, 2011). En la Tabla 5 resumen los costos para proyectos micro en el estándar VCS.

**Tabla 5.** Resumen de los costos y tiempos de la transacción para estándar VCS

Etapa del ciclo del proyecto	Descripción	VCS (US\$)	Duración
Elaboración del PDD	Documento de diseño del proyecto, en inglés. Datos generales del proyecto, metodología línea base y monitoreo.	35,000.00	8 meses
Carta de aval gubernamental	Documento firmado por la autoridad nacional designada (AND) por cada gobierno.	5.00	1.5 meses
Validación	Evaluación en donde se demuestra su viabilidad ambiental, social y económica. La realiza una entidad operacional designada (EOD).	17,000.00	4 meses
Registro al estándar	Aceptación formal del proyecto. VCU: Unidad verificada de carbono.	0.06 / VCU	8 meses
Negociación del contrato. ERPA	ERPA: Acuerdo de compra de reducción de emisiones. Se establece el tipo de negociación, en términos legales de cumplimiento, definición de la propiedad de los bonos de carbono, quien y como se enfrentan los riesgos, las condiciones de compra y venta, la moneda de pago, fechas de pago y entrega de los créditos de carbono.	10,000.00	4 meses
1era verificación	Revisión periódica e independiente en la que se comprueba que las reducciones de emisiones son reales y medibles. VER: Emisiones reducidas verificadas. Generalmente una vez al año por una entidad operacional designada.	4,000.00 – 11,000.00	20 años
Emisión CER	Entrega de los bonos de carbono para el período de acreditación. Después de que la JE del MDL o la autoridad máxima de los estándares, recibe el reporte de certificación. CER: Certificados de emisiones reducidas.	0.06 / VCU	
Uso de registro del estándar		0.10 / VCU	
Verificación y monitoreo periódico	Revisión periódica e independiente en la que se comprueba que las reducciones de emisiones son reales y medibles. VER: Emisiones reducidas verificadas. Generalmente una vez al año por una entidad operacional designada	11,000	

Fuente: (Samayoa, 2011)



Los datos presentados por Samayoa (2011), referentes a los costos y tiempos de los proyectos, muestran que la primera etapa de éste es la más costosa y ésta junto con la validación, constituyen los mayores tiempos en el proceso de certificación con 8 meses cada una. Expuesto lo anterior, y en referencia a los costos, es preferible que los proyectos que habrán de someterse a estos procesos, sean dimensiones amplias, ya que estos son costos fijos, reduciendo por ende, el costo de certificación por unidad de transacción (tCO<sub>2</sub>e).

#### 2.4.3.4 FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS

Los proyectos en el mercado de carbono cuentan con dos corrientes de ingresos: las derivadas del objetivo básico del proyecto y las provenientes de la venta de bonos de carbono (Samayoa, 2011). En la mayor parte de los casos, los ingresos provenientes de la venta de créditos de carbono no financian un proyecto y deben ser considerados únicamente como una contribución adicional a la actividad desarrollada (Najarro & Samayoa, 2009). De acuerdo con lo expuesto por las autoras, existen tres modelos de financiamiento para proyectos en el mercado de carbono:

- 1) Financiación por los dueños de los proyectos.
- 2) Financiación por compradores de bonos de carbono.
- 3) Socios financieros.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

En este capítulo se incluye una descripción detallada de la metodología de investigación utilizada para responder las preguntas de investigación y cumplir con los objetivos planteados en el Capítulo I. La metodología incluye los enfoques y métodos, el diseño de la investigación, los instrumentos y técnicas utilizados para recopilar datos, y las fuentes de información primarias y secundarias utilizadas.

### **3.1 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Por su definición, la investigación tiene dos alcances: descriptivo y correlacional. Hernández, Fernández, & Baptista (2010), establecen que una investigación es de alcance descriptivo cuando únicamente se busca recoger información o realizar mediciones del objeto que habrá de someterse a análisis, buscando con ello caracterizarlo y/o establecer tendencias.

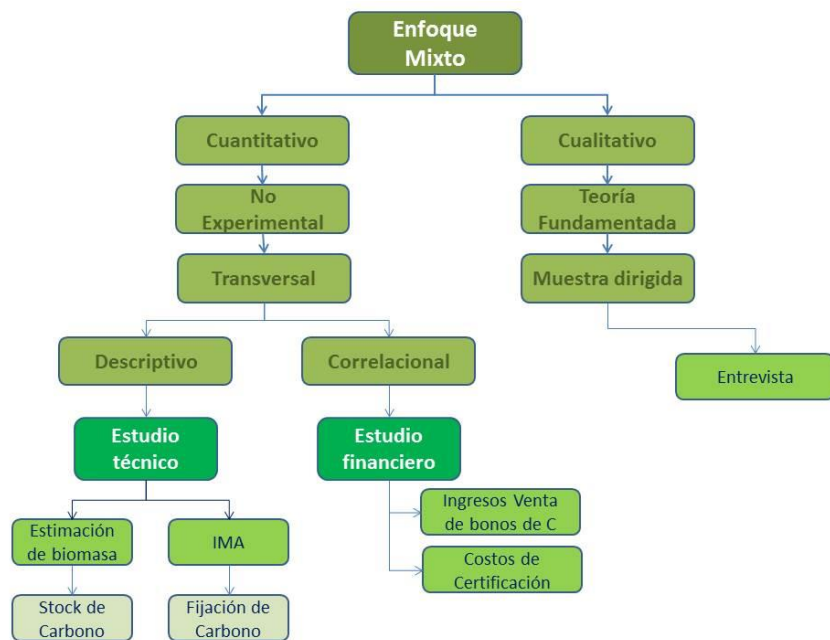
En el caso específico de esta investigación, fueron levantados los datos de campo de las variables primarias (mediciones dasométricas) a partir de las cuales se calcularon las variables de estudio (biomasa y carbono), la información de costos e ingresos, así como los beneficios adicionales fueron tomados a partir de información ya existente en el historial de manejo de la plantación y en la literatura. Tiene también un alcance correlacional, ya que se establece una relación entre los ingresos y gastos de certificación de bonos de carbono, además de los gastos de manejo y venta de madera, y los indicadores de rentabilidad, estableciendo relación entre las variables (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010).

### **3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS**

De acuerdo con las definiciones de Hernández, Fernández, & Baptista (2010), esta investigación se desarrolló bajo el enfoque mixto (Figura 7). Cuantitativamente, los resultados son expresiones numéricas generadas a partir de cálculos matemáticos para

determinar las cantidades de biomasa y carbono almacenado (stock) y el potencial de fijación de Carbono.

El enfoque cuantitativo, corresponde a un diseño No Experimental, puesto que no se estimularon las variables para la obtención de los resultados, sino que se basó en conocer la respuesta de las variables; del tipo Transversal, ya que los datos dasométricos, los costos de certificación, y el precio de venta de los bonos de carbono, se tomaron en el presente, y no a lo largo de un período de tiempo. Se evaluó el comportamiento de los indicadores de rentabilidad financiera partir de los datos de campo tomados para cuantificar las cantidades de carbono en la plantación en tres escenarios de inversión a fin de determinar la mejor alternativa para la realización de la inversión.



**Figura 7.** Diagrama del enfoque y métodos de investigación empleados

El enfoque cualitativo de la investigación, contempló un análisis a partir de teorías fundamentadas tomadas de la revisión literaria (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). A partir de este análisis se recuperó la información del historial de la plantación de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa. Se evaluaron adicionalmente el potencial de

beneficios corporativos en el marco de la Responsabilidad Socio-ambiental Empresarial (RSE), imagen corporativa y desde una perspectiva más amplia, un logro de país en su estrategia de adaptación al cambio climático. Lo anterior, no necesariamente implica beneficios tangibles que se puedan medir en términos de rentabilidad económica, sino que muestran un panorama amplio del aporte de las plantaciones forestales y su importancia por fijación y almacenamiento de carbono (Camacho & Gómez, 2008).

### 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El termino diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). La misma incluye definir la población, la muestra y la unidad de análisis y respuesta.

#### 3.3.1 POBLACIÓN

La población objeto de estudio comprende las 3,076 unidades de análisis correspondientes al número de parcelas contenidas en el área total de la plantación calculada en función de superficie empleando la Ecuación 2, tal como lo establece CATIE (2002). La plantación estudiada es la correspondiente a la especie *Tectona grandis* (Teca) de 10 años de edad establecida en la finca Cuyamapa (153.80 hectáreas) ubicada en el Municipio de Catacamas en el Departamento de Olancho.

***Ecuación 2. Determinación del tamaño de la población***

$$N = \frac{A}{a}$$

Donde:

N = Tamaño de población

A = Área total de plantación

a = Área de parcela

### 3.3.2 MUESTREO PRELIMINAR

El muestro preliminar comprendió 20 parcelas de muestreo de forma circular de 500 m<sup>2</sup> (0.05 ha) cada una, seleccionadas aleatoriamente de una cantidad de 133 distribuidas de manera sistemática en el área de la plantación. CATIE (2002), sugiere que se puede escoger un número arbitrario “X” de parcelas para este proceso seleccionadas aleatoriamente. Partiendo de los datos anteriores, el área total de muestro fue de 1.00 ha midiendo 513 árboles de *Tectona grandis* los que suman un área basal de 10.912 m<sup>2</sup>, un volumen de madera comercial de 41.167 m<sup>3</sup> y 65.442 m<sup>3</sup> de madera en volumen bruto (Anexo 6).

### 3.3.3 MUESTRA

El tamaño de la muestra (n) calculado para el estudio fue de 19 parcelas calculadas a partir muestreo preliminar empleando la Ecuación 3, utilizada para poblaciones finitas (CATIE, 2002). Dado que en el pre-muestreo fueron tomadas 20 unidades de análisis para el levantamiento de campo y análisis de la información. Se consideró este valor como el tamaño de la muestra de la investigación. La variable de respuesta empleada para realizar la comparación entre las unidades de análisis fue la sumatoria del volumen comercial de madera de los árboles dentro de cada parcela.

El cálculo de las medidas de variación fue realizado mediante las formulas planteadas en la Tabla 6. La razón del uso del volumen comercial en el cálculo del tamaño de la muestra es porque corresponde a la empleada en los cálculos de estimación de carbono. El valor de coeficiente de variación y las demás medidas de variación están resumidos en la Tabla 7. El error de muestreo empleado para este cálculo fue de 10% de un máximo permisible de 20% en inventarios forestales (CATIE, 2002). El valor de t-Student, 1.729 fue tomado de la tabla para una significancia de 95% y 19 grados de libertad (gl) (Anexo 10).

**Ecuación 3.** *Tamaño de muestra para población finita en inventario de plantaciones* (CATIE, 2002)

$$n = \frac{(t_{\alpha/2,gl})^2 * (CV\%)^2}{(E\%)^2 + \frac{(t_{\alpha/2,gl})^2 * (CV\%)^2}{N}}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de muestra

$t_{\alpha/2,gl}$  = Valor de t-Student para una significancia Alpha ( $\alpha$ ) con  $n-1$  grados de libertad ( $gl$ )

$CV\%$  = Coeficiente de variación del muestreo preliminar

$E\%$  = Error de muestreo

$N$  = Tamaño de la población

**Tabla 6.** Medidas de tendencia central y variación calculadas en la investigación

Medida	Símbolo	Fórmula	Observación
Media aritmética	$\bar{x}$	$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$	
Varianza	$S^2$	$S^2 = \frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}$	
Desviación estándar	$S$	$S = \sqrt{S^2}$	
Coeficiente de variación	$CV\%$	$CV\% = S/\bar{x} * 100$	
Grados de libertad	$gl$	$gl = n - 1$	
Error estándar para población finita	$S_x$	$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} * FC$	Factor de corrección $FC = \sqrt{(1 - f)}$ Fracción de muestreo $f = n/N$ , se desestima cuando $< 0.05$

Fuente: (CATIE, 2002)

Las medidas de variación requeridas para el cálculo del tamaño de la muestra fueron calculadas mediante las formulas establecidas en la tabla anterior. Los resultados para cada variable obtenida del muestreo preliminar se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Resultados de las medidas de variación obtenidas en el pre-muestreo

Estadísticos	Símb	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	Arb	AB (m <sup>2</sup> )	VolCom (m <sup>3</sup> )	VolTot (m <sup>3</sup> )	BioMas (ton)
Sumatoria	$\Sigma$	329	136	263	513	10.912	41.167	65.442	62.705
Media	$\bar{X}$	16.5	6.8	13.2	26	0.546	2.058	3.272	3.135
Varianza	$S^2$	2.6	0.1	1.9	32	0.009	0.264	0.498	0.344
Desviación Estándar	S	1.6	0.3	1.4	6	0.095	0.514	0.706	0.586
Coefficiente de variación	CV%	9.9	3.8	10.4	22.2	17.5	25.0	21.6	18.7
Parcelas (pre-muestreo)	$n_0$	20	20	20	20	20	20	20	20
Grados de libertad	gl	19	19	19	19	19	19	19	19
Población	N	3,076	3,076	3,076	3,076	3,076	3,076	3,076	3,076
Error estándar	Sx	0.364	0.058	0.306	1.272	0.021	0.115	0.158	0.131
Error de muestreo (inventario)	E%	3.8%	1.5%	4.0%	8.5%	6.7%	9.6%	8.3%	7.2
Tamaño de muestra requerida	n	3	1	4	15	10	19	14	10

El tamaño de la muestra requerida para este estudio fue calculado en 19 parcelas. Dado que es una plantación coetánea, los parámetros medidos y calculados son bastante homogéneos, lo que reduce su variación, tal como se muestra en la Tabla 7.

### 3.3.4 UNIDAD DE ANÁLISIS

Para efectos de este estudio la unidad de análisis corresponde a parcelas temporales de muestreo de forma circular con quinientos metros cuadrados (500 m<sup>2</sup>), distribuidas el área de la plantación. Los datos de campo tomados en cada unidad fueron:

- 1) Conteo de árboles dentro la parcela
- 2) Medición de DAP (diámetro a la altura del pecho) en centímetros (cm)
- 3) Medición de las alturas comercial (HC) y total (HT) en metros (m)

### 3.3.5 UNIDAD DE RESPUESTA

Las unidades de respuesta de comprenden la cantidad de carbono almacenado y fijado en las plantaciones de *Tectona grandis* de la finca Cuyamapa. El carbono almacenado se expresa en toneladas métricas por hectárea (ton/ha) y la fijación de carbono en toneladas métricas por hectárea por año (ton/ha/año).

### 3.3.6 TECNICAS E INSTRUMENTOS

Se describen a continuación los instrumentos y técnicas para recopilación y análisis de la información, utilizados en las diferentes etapas y actividades de la investigación.

#### 3.3.6.1 TÉCNICAS

Las técnicas para la interpretación de los datos fueron la de análisis-síntesis e inducción-deducción, puesto que los valores de los resultados son proyectados a fin de obtener tendencias así como también la información es revisada conforme a lo identificado en la literatura.

Las técnicas empleadas en esta investigación comprenden:

- 1) *Inventario forestal (enfoque cuantitativo)*. El inventario fue realizado de acuerdo con la metodología planteada por CATIE, (2002), diseñada específicamente para plantaciones forestales. Consiste en la selección cuantificación y medición de los árboles dentro de cada parcela, a partir de un muestreo estadístico previamente definido.
- 2) *Encuesta (enfoque cualitativo)*. La encuesta desarrollada fue a través de una muestra dirigida, por la cual se aplicó un cuestionario (Anexo 4), para recuperar la información histórica de la Finca Cuyamapa y de las plantaciones de *Tectona grandis*. Comprende un levantamiento de información cualitativa requerida para el análisis cualitativo de la propuesta de certificación.



### 3.3.6.2 INSTRUMENTOS

Los instrumentos de aplicación comprenden los formularios de campo para el registro de las variables dasométricas de las unidades de análisis (Anexo 3). Las mediciones fueron realizadas haciendo uso de instrumentos diseñados para la cada una de las variables:

- a) Forcípula: empleada para la medición de DAP
- b) Clinómetro: para la medición de alturas comercial y total
- c) Cinta métrica: medición de radio de parcela

Adicionalmente, para la delimitación del área de finca y plantaciones así como en la ubicación y distribución de las unidades de muestro en el área de la plantación fueron empleados sistemas de información geográfica: software de aplicación y sistema de posicionamiento global (GPS) y bases de datos. Por otra parte fueron requeridas hojas de cálculo electrónicas en el procesamiento y análisis de la información de campo.

También la revisión de literatura fue consultada para la obtención de los resultados de la investigación, tomando como base estudios realizados para determinar la cantidad de carbono contenido en la biomasa de diferentes especies forestales, especialmente la *Tectona grandis*. A partir de revisión literaria, se identificaron los procedimientos de certificación adaptables en Honduras, así como los costos de implementación del mismo.

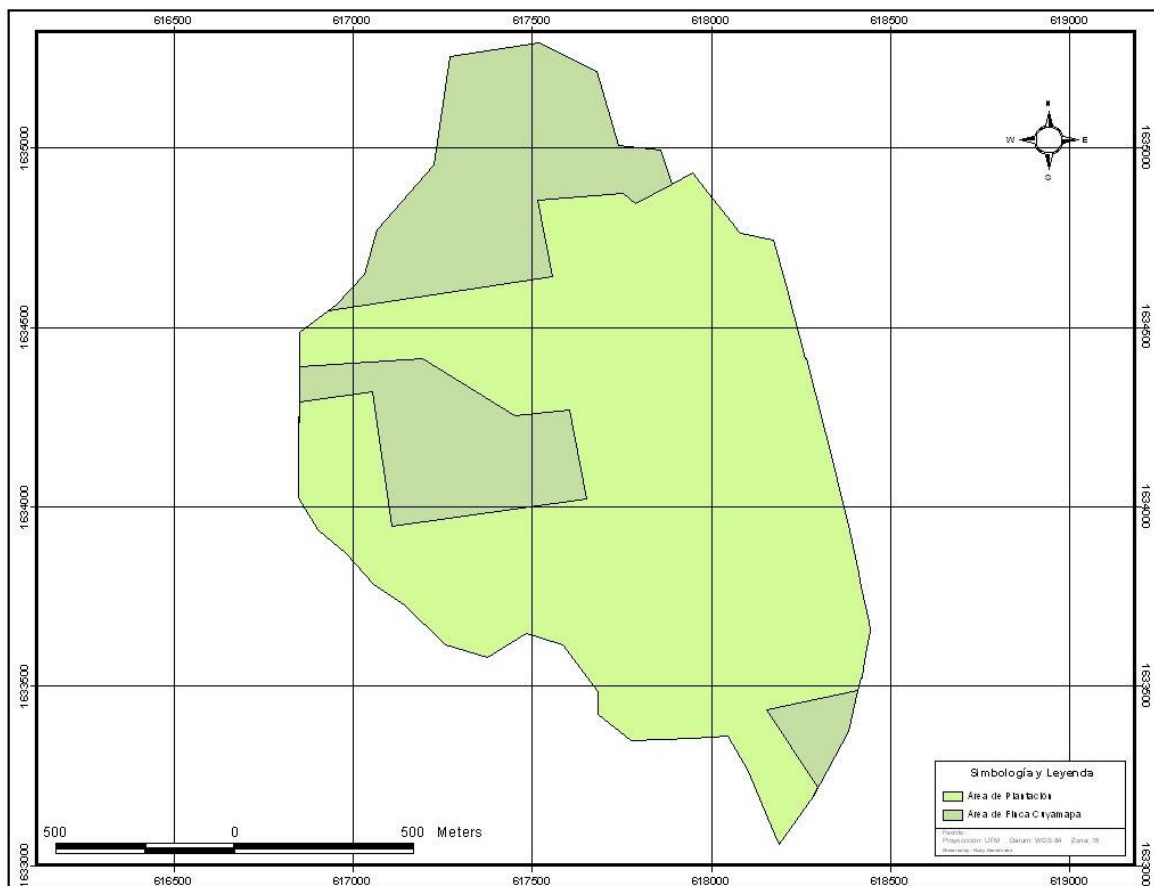
El registro de información de histórico de la plantación, fue recuperada mediante una entrevista (Anexo 4), realizada al Ing. Oscar Álvarez, responsable del diseño y establecimiento de las plantaciones.

### 3.3.7 PROCEDIMIENTO

Se detalla en esta sección, la secuencia de pasos para la toma de datos y análisis de la información requerida para la investigación.

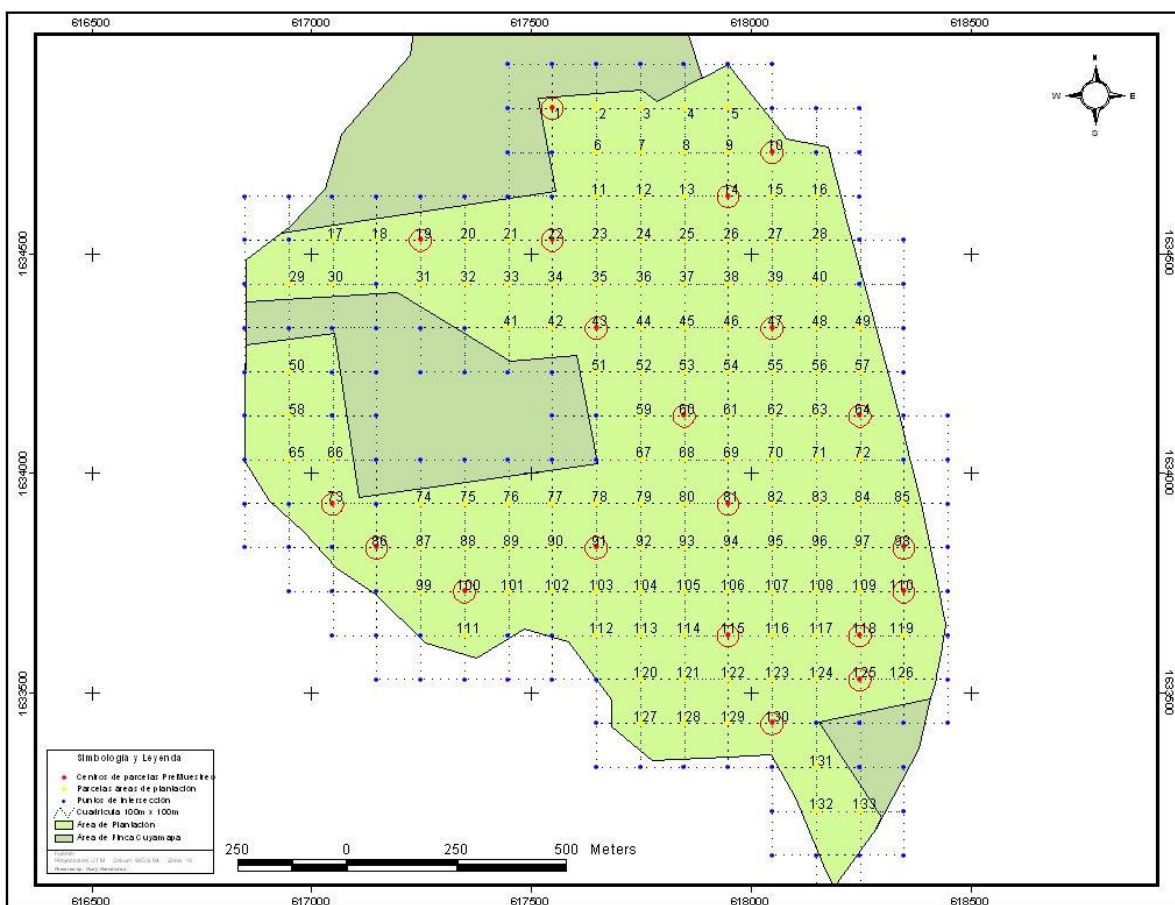
#### 3.3.7.1 MAPEO Y SELECCIÓN DE MUESTRAS

El mapeo del área de la plantación empleando sistemas de información geográfica: software de aplicación y GPS. En primera instancia fue delimitada el área de la plantación, separándola del área de la finca (Figura 8). El área de la plantación fue dividida en una cuadrícula de 100 m x 100 m, calculando las coordenadas geográficas de cada intersección y empleándolas como centro de parcela.



**Figura 8.** Ubicación de área de plantaciones en la finca Cuyampa

Parte del proceso comprendió la eliminación de los puntos fuera del área de plantación y/o los que se encontrasen cerca del borde. Lo anterior generó como resultado 133 parcelas dentro del área de la plantación numeradas correlativamente. Para este estudio fueron seleccionadas aleatoriamente 20 parcelas para el muestreo preliminar, habiéndose distribuido en el área de la plantación (Figura 9). Esta selección aleatoria fue realizada mediante una macro, valiéndose del software Microsoft Excel, para la generación de números aleatorios únicos (sin repeticiones), definiendo los parámetros requeridos: 1) Límite inferior: 1; 2) Límite superior: 133 y 3) Cantidad de aleatorios: 20.



**Figura 9.** Distribución geográfica de parcelas de pre-muestreo

Las coordenadas geográficas de cada centro de parcela del pre-muestreo (Anexo 5) fueron cargadas en un receptor GPS, con el cual se ubicaron en campo para la delimitación de la misma y el levantamiento de la información dasométrica. Los árboles

dentro de cada parcela fueron identificados con pintura color rojo a través de la medición de radios en el sentido de las manecillas del reloj. Para cada árbol se realizaron mediciones directas del DAP y mediciones indirectas de las alturas comercial y total haciendo uso del clinómetro fijando para ello una distancia base de 20 m. Estos valores fueron realizados los cálculos de volumen de madera y contenido de carbono empleado las ecuaciones descritas en esta sección.

### 3.3.7.2 ESCENARIOS DE INVERSIÓN

La información de costos e ingresos por el establecimiento y manejo de la plantación fueron tomados de los registros históricos administrativos, con los cuales se desarrolló el flujo para determinar rentabilidad. Este análisis de rentabilidad sin certificación de bonos de carbono fue denominado *Escenario 1*. El segundo escenario comprendió los costos e ingresos de certificación implementado el proceso a los 12 años de edad de la plantación y un tercer escenario con la certificación en el año 5. En cada escenario de inversión fueron calculados los flujos de caja flujo cuyos resultados comparándolos entre sí, para determinar la viabilidad económica de la implementación o no del proceso de certificación de bonos de carbono en la plantación y la mejor edad para hacerlo.

### 3.3.7.3 ESTIMACION DE BIOMASA Y VOLUMEN DE MADERA

Los valores obtenidos del estudio son las características dasométricas de las plantaciones a partir de los cuales se determinó el volumen total a través de la Ecuación 4, propuesta por Cubero y Rojas (1999). El volumen comercial en fuste fue determinado por la Ecuación 5, expuesta por Chaves (1991). El cálculo de la biomasa aérea por árbol, se realizó mediante la Ecuación 6 planteada por IPCC (2003) para plantaciones de *Tectona grandis* y la biomasa radicular multiplicando el valor de biomasa aérea por 0.28, factor definido para bosque con biomasa aérea superior a 20 ton/ha (IPCC, 2006).

Los valores por hectárea (*vol/ha*), fueron inferidos mediante extrapolación de la sumatoria en el área de la parcela, expresando los resultados en: árboles por hectárea (*arb/ha*), metros cúbicos por hectárea ( $m^3/ha$ ) y la biomasa en toneladas métricas por

hectárea (*ton/ha*). La cuantificación de las variables de cada parcela expresadas para el área de la plantación se obtuvo de la multiplicación de los valores por hectárea y la superficie total de la plantación. De manera similar, el incremento medio anual (IMA), calculado para la biomasa y volumen, está dado por la relación entre los valores por hectárea y la edad de la plantación expresada en *ton/ha/año* y *m<sup>3</sup>/ha/año* respectivamente.

**Ecuación 4.** Modelo de estimación de volumen total para *Tectona grandis*.

$$V = 0.00877993 + 0.00003251 * (DAP^2 * H)$$

Donde:

V = Volumen total por árbol (m<sup>3</sup>)

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (cm)

h = Altura total (m)

**Ecuación 5.** Modelo de estimación de volumen comercial para *Tectona grandis*

$$V = -0.0111 + 0.000025 * (DAP^2 * H)$$

Donde:

V = Volumen total por árbol (m<sup>3</sup>)

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (cm)

h = Altura total (m)

**Ecuación 6.** Estimación de biomasa aérea para *Tectona grandis*

$$BIO = 0.153 * DAP^{2.382}$$

Donde:

BIO = Biomasa aérea por árbol (kg)

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (cm)

#### 3.3.7.4 CONTENIDO DE CARBONO

El contenido de carbono almacenado (stock) en el fuste de los árboles se estimó mediante la Ecuación 7 que incluye el factor genérico de 0.47 establecido por IPCC (FAO, 2010c). La densidad de madera de *Tectona grandis* es de 0.69 g/cm<sup>3</sup> (Chaves, 1991). El carbono en el follaje (copa) y raíces, fue estimado mediante factores de expansión de 1.5 y 1.6 respectivamente a partir del volumen en fuste (Brown, 1997). Por otra parte, la fijación de carbono se determinó a través del Incremento Medio Anual (IMA) del volumen de madera de la plantación (Ecuación 8), empleado los mismos factores para follaje y raíces.

**Ecuación 7.** Cálculo del carbono almacenado (stock).

$$CA = Vt * d * fc$$

Donde:

CA = Carbono almacenado (ton/ha)

Vt = Volumen total (m<sup>3</sup>/ha)

d = Densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

fc = Fracción de carbono

**Ecuación 8.** *Cálculo de la fijación de carbono en plantación.*

$$Cf = IMA * d * fc$$

Donde:

Cf = Fijación de carbono (ton/ha/año)

IMA = Incremento Medio Anual (m<sup>3</sup>/ha/año)

d = Densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

fc = Fracción de carbono

La proyección de estimación de fijación de carbono para los años siguientes se realizó a partir de la evaluación comparativa del crecimiento en altura de los árboles en función de la edad, determinando a partir de éste, la clasificación del sitio de acuerdo a las planteadas por Chaves (1991): Clase I, Clase II y Clase III; siendo los sitios Clase I los que presentan los mejores rendimientos en producción de volumen de madera comercial.

### **3.4 FUENTES DE INFORMACIÓN**

En esta sección se enumeran las fuentes de información primaria y secundaria empleadas durante el proceso de investigación para generar los resultados de la misma.

### **3.4.1 FUENTES PRIMARIAS**

Las fuentes primarias de información están comprendidas por los datos de campo obtenidas a partir de las mediciones dasométricas en los individuos de cada unidad de análisis (Inventario forestal). También se la información recopilada por la entrevista se encuentra en este grupo de fuentes de información. Adicionalmente los datos administrativos del establecimiento y manejo de la plantación así como los ingresos por ventas de productos y subproductos se ubican en este grupo.

### **3.4.2 FUENTES SECUNDARIAS**

Las fuentes secundarias se dividen en dos grupos principales de información:

#### **3.4.2.1 ESTUDIOS TÉCNICOS**

Los estudios técnicos comprenden las investigaciones realizadas relacionadas con los inventarios forestales, fijación de carbono, estimaciones de biomasa y relacionados. La información de estos estudios técnicos fue empleada para:

- 1) Cálculo de la cantidad de carbono contenido en la biomasa de las plantaciones forestales.
- 2) Estudios de crecimiento y desarrollo de las plantaciones.
- 3) Manuales de establecimiento y manejo de plantaciones.

#### **3.4.2.2 CERTIFICACIÓN BONOS DE CARBONO FORESTAL**

Estas son las fuentes empeladas para identificar y seleccionar un procedimiento de certificación de plantaciones considerando las oportunidades de participación en los mercados de carbono (precios y cantidades), los estándares de certificación y las metodologías de ese estándar seleccionado que sean adaptables a las políticas y legislación hondureña así como a las plantaciones de *Tectona grandis* de la Finca Cuyamapa.



## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de la investigación y un análisis de los mismos en el entorno de aplicabilidad y comparación con las conclusiones de estudios similares realizados por instituciones y personas particulares.

### 4.1 ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LAS PLANTACIONES

En esta sección se detalla paso a paso, los resultados obtenidos de los cálculos estadísticos y matemáticos que llevaron a estimar la cantidad de carbono contenido en las plantaciones (stock) y el potencial de fijación de las mismas. El contenido de carbono fue calculado a partir del volumen comercial de la madera en pie, a través de un muestreo aleatorio simple.

#### 4.1.1 BIOMASA AÉREA Y VOLUMEN DE MADERA

A partir de los valores extrapolados a la hectárea de la Tabla 7, el volumen bruto de madera existente y de biomasa en el área de plantaciones fue calculado multiplicando por la superficie neta de 153.80 ha (Tabla 8).

**Tabla 8.** Estimación de volumen madera de *Tectona grandis* en Finca Cuyamapa

Variables	Símbolo	Valores por hectárea	Total
Número de árboles	arb	513	78,897.0
Área basal (m <sup>2</sup> )	AB	10.912	1,678.2
Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	VC	41.167	6,331.2
Volumen total (m <sup>3</sup> )	VT	65.442	10,064.7
Biomasa aérea (ton)	BioA	62.705	9,643.7
Biomasa subterránea (ton)	BioS	17.557	2,700.2

El contenido neto de volumen comercial de madera calculado en la plantación es de 6,331.2 m<sup>3</sup>, en una biomasa aérea de 9,643.7 toneladas métricas distribuida en 78,097 árboles.

## 4.1.2 CONTENIDO DE CARBONO Y ABSORCIÓN DE CO<sub>2</sub>

La fracción o proporción de carbono contenido en los árboles de *Tectona grandis* de 10 años de edad de la Finca Cuyamapa, fueron calculados a partir del volumen comercial de madera, proyectando su estimación hacia follaje y raíces mediante factores genéricos establecidos por Brown (1997). A continuación se presentan los resultados de las estimaciones de almacenamiento de carbono (stock) y la capacidad anual de fijación (absorción de carbono).

### 4.1.2.1 ALMACENAMIENTO DE CARBONO

El contenido de carbono de la plantación de *Tectona grandis* (stock) fue calculado en 1,965.84 toneladas métricas (ton), obtenido para el volumen comercial de madera a partir de la densidad de la madera y la fracción de carbono. Aplicando los factores de expansión para determinar el carbono en el follaje y las raíces, los contenidos fueron calculados en 982.92 ton y 1,179.51 ton respectivamente; para un total de carbono almacenado de 4,128.27 ton.

### 4.1.2.2 FIJACIÓN DE CARBONO

La fijación de carbono en las plantas, es realizada mediante el proceso de fotosíntesis, a partir de la absorción del CO<sub>2</sub> atmosférico y es expresado en toneladas métricas de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>). A los 10 años de edad, el total de CO<sub>2</sub> absorbido por las plantaciones de *Tectona grandis* Finca Cuyamapa, es de 7,214.65 tCO<sub>2</sub> a razón de 19.23 tCO<sub>2</sub>/ha/año calculado en función del IMA, en el que se incluye el Carbono acumulado en el follaje y las raíces.

Las proyecciones de fijación anual de carbono, se muestran en la Tabla 10 y fueron calculadas para un rendimiento de crecimiento en un sitio Clase II, de acuerdo a los valores definidos por Chaves (1991) en un turno de rotación de 20 años. La absorción neta proyectada al final de este ciclo, fue de 185.21 tCO<sub>2</sub>/ha las que equivalen a 28,485 tCO<sub>2</sub> en el área total de la plantación de *Tectona grandis*. Esta proyección de fijación de

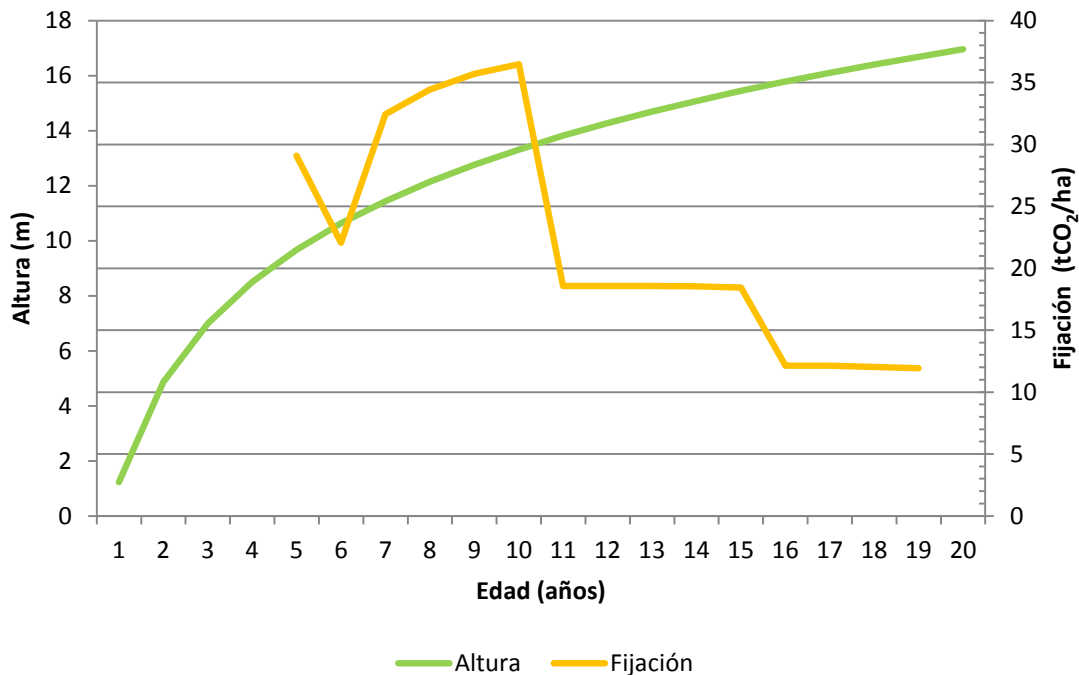
Carbono fue calculada en función del incremento corriente anual (ICA) de la plantación. En la Tabla 9 se muestra que los valores de absorción de CO<sub>2</sub> surgen a partir de los 5 años de edad de la plantación, lo anterior debido a que es hasta en esta edad en que se obtiene volumen comercial.

**Tabla 9.** Cálculo de la absorción de dióxido de carbono a partir del ICA

Edad año	DAP (cm)	H (m)	V/arb (m <sup>3</sup> /arb)	arb/ha	VC/ha (m <sup>3</sup> /ha)	ICA/ha (m <sup>3</sup> /ha)	Fijación anual de C (C/ha)				Absorción CO <sub>2</sub>		
							Mad.	Foll.	Raíz	Total	tCO <sub>2</sub> /ha	tCO <sub>2</sub>	
1		1.2		1,198									
2		4.9		1,198									
3	3.5	7.0		1,198									
4	6.8	8.5		1,198									
5	9.4	9.7	0.010	1,198	12.149	12.149	3.772	1.886	2.263	7.922	29.073	4,471	
6	11.5	10.6	0.024	898	21.365	9.216	2.862	1.431	1.717	6.009	22.054	3,392	
7	13.2	11.4	0.039	898	34.923	13.558	4.210	2.105	2.526	8.840	32.444	4,990	
8	14.7	12.1	0.055	898	49.314	14.391	4.468	2.234	2.681	9.384	34.438	5,297	
9	16.1	12.8	0.071	898	64.232	14.918	4.632	2.316	2.779	9.727	35.699	5,491	
10	17.3	13.3	0.088	898	79.473	15.241	4.732	2.366	2.839	9.938	36.471	5,609	
11	18.4	13.8	0.106	449	47.448	-32.025	-9.944	-4.972	-5.966	-20.882	-76.637	-11,787	
12	19.4	14.3	0.123	449	55.202	7.754	2.408	1.204	1.445	5.056	18.555	2,854	
13	20.3	14.7	0.140	449	62.963	7.761	2.410	1.205	1.446	5.061	18.573	2,857	
14	21.1	15.1	0.157	449	70.707	7.744	2.405	1.202	1.443	5.050	18.532	2,850	
15	21.9	15.4	0.175	449	78.416	7.709	2.394	1.197	1.436	5.027	18.448	2,837	
16	22.7	15.8	0.192	299	57.385	-21.031	-6.530	-3.265	-3.918	-13.713	-50.329	-7,741	
17	23.4	16.1	0.209	299	62.454	5.069	1.574	0.787	0.944	3.305	12.131	1,866	
18	24.0	16.4	0.225	299	67.481	5.027	1.561	0.780	0.936	3.278	12.029	1,850	
19	24.6	16.7	0.242	299	72.462	4.981	1.547	0.773	0.928	3.248	11.920	1,833	
20	25.2	17.0	0.258	299	77.395	4.933	1.532	0.766	0.919	3.217	11.805	1,816	

Como se observa en la Tabla 9, la absorción de CO<sub>2</sub>, tiende a reducir a partir de los 15 años de edad de la plantación, esto se debe a que los arboles están alcanzando madurez traduciéndose lo anterior en una reducción del ICA como se puede apreciar en la Figura 10. Por otra parte los valores negativos en esta Tabla 9, corresponden a emisiones generadas por el proyecto, se les considera “emisiones programadas”, y

representan los cortes de árboles por la implementación de las prácticas de silvicultura. En la sumatoria de absorción de CO<sub>2</sub> para comercialización, estas emisiones son sustraídas. Una forma para compensar este diferencial, de emisiones es mediante el inicio de un nuevo ciclo de producción a través del manejo de rebrotes, conservando en reserva el Carbono contenido en las raíces.



**Figura 10.** ICA y crecimiento en altura de *Tectona grandis* para sitio Clase II

Las caídas del ICA, representadas en la gráfica anterior se deben a las extracciones de madera en cada intervención silvicultural, específicamente los raleos. La tendencia decreciente del ICA, también se ve influenciada por la madurez alcanzada por los árboles traduciéndose en una disminución de la curva de crecimiento, por ende la absorción de CO<sub>2</sub>.

#### 4.2 CÁLCULO DE RENTABILIDAD

Los análisis de rentabilidad se realizaron para la plantación de *Tectona grandis* de la Finca Cuyamapa, efectuando la comparación entre los flujos con la implementación del

proceso de certificación en dos edades diferentes del ciclo de producción y sin la comercialización de bonos de carbono certificados. Se describen en esta sección, los resultados de los análisis de flujos de caja y la evaluación de la comparación de los mismos. El precio de venta de los bonos de carbono empleado en este análisis fue de: US\$ 3.93 / tCO<sub>2</sub> (Carbon Trade Exchange, 2014).

#### **4.2.1 MANEJO Y COMERCIALIZACIÓN DE PLANTACIÓN**

En esta sección se muestran los resultados obtenidos del análisis de rentabilidad en el escenario de inversión sin la implementación del proceso de certificación, denominado escenario 1.

##### **4.2.1.1 ESCENARIO 1**

El valor actual neto (VAN) de la plantación para un turno final e rotación de 20 años, es de L. 2, 395,647.46 a una tasa de descuento de 10%, que es la empleada por BANADESA para la financiación de proyectos de inversión en el agro. Con una TIR calculada en 12.555% y una relación costo beneficio de 1.92 el proyecto muestra atractiva utilidad para la realización de la inversión en este escenario, bajo el esquema de la comercialización de los productos y subproductos obtenidos de la madera. Sin la certificación de bonos de carbono

#### **4.2.2 CERTIFICACIÓN DE BONOS DE CARBONO EN PLANTACIÓN**

Los resultados de esta sección, obtenidos del análisis de rentabilidad en el escenario de inversión con la implementación del proceso de certificación, bajo dos escenarios en el que cambia el tiempo de iniciación del proceso de certificación.

##### **4.2.2.1 ESCENARIO 2 (CERTIFICACIÓN EN**

El escenario de inversión número 2, contempla la implementación del proceso de certificación de bonos de carbono por almacenamiento y fijación, en la Finca Cuyamapa

para el cultivo de *Tectona grandis*, iniciando a los 10 años de edad de la plantación con proyección a un turno de 20 años. Bajo estas condiciones los indicadores de rentabilidad son: VAN = L. 2, 185,794.26 con una TIR de 12.365% y una relación costo-beneficio de 1.84.

Los ingresos de este escenario, contemplan los costos totales de implementación del proyecto desde la producción de plantas en vivero. Los costos e ingresos relacionados con la certificación de bonos de carbono, son contemplados a partir de los 11 años de edad de la plantación. Bajo estas condiciones, la rentabilidad disminuye en comparación con los flujos del cultivo sin la certificación.

#### 4.2.2.2 ESCENARIO 3.

El escenario de inversión número 3, contempla un caso hipotético para la implementación del proceso de certificación de bonos de carbono por almacenamiento y fijación, iniciando a los 5 años de edad, tiempo en el cual los árboles comienzan a producir volumen comercial. Al igual que los escenarios anteriores, los flujos son proyectados a un turno de 20 años, obteniendo los siguientes resultados en los indicadores económicos: VAN = 2, 405,774.93 con una TIR de 12.537% y una relación costo-beneficio de 1.92.

Similar al escenario 2, los ingresos en este caso contemplan los costos totales de implementación del proyecto desde la producción de plantas en vivero. Los costos e ingresos relacionados con la certificación de bonos de carbono, son contemplados a partir de los 5 años de edad de la plantación. Bajo estas condiciones, se presenta un ligero cambio en el VAN incrementándose en L. 10,127.47 que equivale al 0.4% en relación escenario 1

### 4.2.3 COMPARACIÓN DE ESCENARIOS DE INVERSIÓN

La diferencia en los valores de rentabilidad, es relativamente baja. Como se muestra en la Tabla 10, el VAN del escenario de inversión número 3, es L. 10,127.47 superior al

obtenido en el escenario 1, donde no se considera la implementación de la certificación de bonos de carbono.

**Tabla 10.** Comparación de indicadores financieros de escenarios de inversión

Indicador financiero	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
	Sin certificación	Certificación al año 12	Certificación al año 5
i	10%	10%	10%
VNA	2,395,647.46	2,185,794.26	2,405,774.93
TIR	12.555%	12.365%	12.537%
B/C	1.92	1.84	1.92

Dadas estas leves variaciones en los indicadores financieros de rentabilidad, no se considera la certificación una alternativa para mejoramiento de ingresos en la plantación, que permita compensar los gastos en los primeros años de edad.

### 4.3 PROCEDIMIENTO DE CERTIFICACIÓN DE CARBONO FORESTAL

Como se menciona en el Capítulo II, existen los mercados regulados y los voluntarios de carbono. En la presente investigación, se tomó la opción de mercados voluntarios debido a su tamaño y la mayor simplicidad del proceso. El proyecto es tamaño micro, ya que su fijación de carbono anual es menor a 5,000 tCO<sub>2</sub>.

En base a lo anterior, se encontró que las alternativas más apropiadas para el proyecto son las siguientes:

- 1) Tecnología: Implementación de mejores prácticas de manejo forestal sostenible (IFM – Improved Forestry Management, por sus siglas en ingles).
- 2) Estándar: Estándar Voluntario de Carbono (VCS por sus siglas en ingles).
- 3) Metodología: Estimation of Woody Biomass Harvesting and Utilization (VMD0025).

### **4.3.1 IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE CERTIFICACIÓN**

El tiempo de implementación del proyecto, hasta la emisión del CER, comprende un periodo de 26 meses y medio. En la Figura 9, se muestra el cronograma del proceso de certificación e implementación a seguir para ingresar al mercado de carbonos, formulado a partir del esquema de ciclo de proyecto descrito en el Capítulo II.

### **4.4 IMPORTANCIA DE LA CERTIFICACIÓN DE FINCA CUYAMAPA**

Además de la rentabilidad financiera, este tipo de proyectos de certificación de bonos de carbono, ofrecen otros beneficios asociados no financieros, o co-beneficios que con impacto ambiental y social. Según, Samayoa, (2011) y Chenost, *et.al.* (s.f.), entre los beneficios sociales se pueden mencionar los siguientes: constituyen una actividad económica importante para el país, que genera mano de obra, especialmente, la poco calificada. Esta actividad económica mejora los ingresos y las condiciones de vida de las comunidades locales, y permite, así, luchar para disminuir los niveles de pobreza en zonas rurales. Desde el punto de vista ambiental, ayudan a la conservación de la biodiversidad de fauna y flora. La cobertura forestal ayuda en la protección de los suelos y en la protección de zonas de recarga de agua.

Lo anterior ayuda a mejorar la imagen de Honduras y sus instituciones, posicionándolo como un país que apoya y ejecuta proyectos ambientales que promueven el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente y mejoran la calidad de vida de sus habitantes. Los MVC, juegan un rol determinante en el mejoramiento de la imagen corporativa de las empresas, puesto que demuestran interés en el desarrollo de proyectos con uso de tecnologías cada vez más amigables con el ambiente y de mayor aceptación social (ProChile, 2012).



## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalizado el análisis de las variables de estudio y obtenidos los resultados para comprobar el estudio de investigación, se presentan a continuación las conclusiones de la investigación en respuesta a los objetivos planteados. Asimismo se presentan las recomendaciones en función a las alternativas a considerar para ejecutar el proyecto de certificación de bonos de carbono en la Finca Cuyamapa.

### 5.1 CONCLUSIONES

En relación a los resultados planteados en el Capítulo IV, se plantean a continuación las conclusiones obtenidas del mismo.

- 1) Los tres escenarios de inversión dieron como resultado índices de rentabilidad positiva. La relación B/C sin certificación = 1.92, B/C con certificación a partir del año 5 B/C = 1.92 y B/C con certificación a partir del año 12 (presente) = 1.84. La opción de iniciar certificación a partir del año 12 es la menos rentable, mientras que certificarse o no certificarse tienen la misma rentabilidad. Debido a lo anterior, la hipótesis nula ( $H_0$ ) se acepta.
- 2) La fracción o proporción de carbono contenido en las 153.80 ha de plantaciones de *Tectona grandis* de 10 años de edad de la Finca Cuyamapa, fue calculada en 4,128.27 toneladas métricas (ton).
- 3) La fijación de carbono en el área total de plantaciones de *Tectona grandis*, expresado en toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente ( $tCO_2$ ), fue de 7,214.65  $tCO_2$  a razón de 19.23  $tCO_2/ha/año$  calculado en función del Incremento Medio Anual (IMA), que equivalen a un rendimiento de L. 1511.48/ha/año.
- 4) La proyección de la fijación anual de carbono fue calculada para un rendimiento de crecimiento en un sitio Clase II, con un turno de rotación de 20 años. La

absorción neta proyectada al final de este ciclo, fue de 185.21 tCO<sub>2</sub>/ha las que equivalen a 28,485 tCO<sub>2</sub> en el área total de la plantación de *Tectona grandis*.

- 5) La metodología de certificación seleccionada para la Finca Cuyamapa es la Estimation of Woody Biomass Harvesting and Utilization (VMD0025), del estándar de VCS (estándar voluntario de carbono) con la implementación de la tecnología FMI, que consiste en la implementación de mejores prácticas de manejo forestal. Lo anterior debido a que el proyecto se categorizó como micro, dada el aporte de absorción de CO<sub>2</sub>, inferior a las 5,000 tCO<sub>2</sub>; adicionalmente fue considerado este estándar debido a su relativa simplicidad y regulaciones.
- 6) Independiente de la certificación en los mercados de carbono, las empresas mejoran su imagen corporativa a través de la implementación de co-beneficios de utilidad para las comunidades vecinas y el ambiente, a través del empleo local y la protección del suelo a través de una cobertura boscosa. Además, la plantación de la finca Cuyamapa ha sido utilizada como laboratorio por instituciones educativas, para la realización de estudios de cobertura forestal, biomasa, crecimiento, suelo, etc., aportando no solo a la industria forestal, sino también a la academia.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Partiendo de los resultados obtenidos y las conclusiones, se listan a continuación las recomendaciones para complementariedad del estudio.

- 1) Se recomienda realizar la inversión con la certificación a partir del año cinco. A pesar de que tenga la misma rentabilidad que la opción sin la certificación, la misma ayuda a mejorar la imagen de la empresa y de país.

- 2) Considerando las cantidades de almacenamiento y absorción de dióxido de carbono de la plantación, se recomienda promocionar la importancia de las plantaciones de *Tectona grandis* de la Finca Cuyamapa en términos ambientales por su contribución en la purificación del aire.
- 3) Certificar la plantación con el estándar VCS para mercados voluntarios, puesto que cuentan con menores regulaciones de compromisos, siendo más flexibles y relativa simplicidad de adaptación, por sus variadas metodologías adaptables a diferentes escenarios tanto para la reducción como para la absorción de emisiones.
- 4) Debido a que la participación en los mercados voluntarios es más simple que los mercados regulados por el PK, existe mucha oferta de proyectos que compiten en el mismo, por lo que se recomienda que adopción de un estándar VCS, sea acompañado de otro sello que se enfoque en la generación de beneficios para las comunidades aledañas, fuentes de agua y el ambiente en general, siendo el CCB's una alternativa atractiva.
- 5) La implementación de estos proyectos de certificación, requiere la contratación de asesoría especializada en el área ambiental, foresta o afín; con experiencia previa en al menos un proyecto de este tipo. Lo anterior para evitar atrasos en el proceso y llevar a cabo la implementación de manera óptima.
- 6) Se recomienda además buscar la asesoría legal con experiencia en negociación de contratos, a fin de redactar un contrato favorable sin ambigüedades.

## **CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD**

Como producto final del trabajo de investigación realizada, se presenta este capítulo como solución al problema planteado (Paredes, 2014). Una vez que se haya tomado la decisión de llevar a cabo la certificación por fijación de conos de carbono, se debe seguir un proceso para su implementación. El proceso está compuesto por actividades, las partes involucradas, y los costos asociados a cada una de ellas. En este capítulo se plantea el procedimiento a seguir, incluyendo el cronograma y presupuesto.

### **6.1 PROCEDIMIENTO PARA LA CERTIFICACIÓN**

Los proyectos de certificación por bonos de carbono en el mercado voluntario, deben atravesar ciertas etapas en las cuales participan diferentes entes, la empresa promotora, un consultor externo, el gobierno y las instituciones asignadas especializadas para validar el proceso y otorgar la certificación. El procedimiento a seguir para la implementación del proceso de certificación es el siguiente:

- 1) La empresa promotora deberá desarrollar, a través de un consultor externo con experiencia en el tema, dos documentos: La nota de idea de proyecto (PIN) y el documento de diseño del proyecto (PDD). En la PIN se incluirá la siguiente información: El tipo y tamaño del proyecto, su ubicación, cantidad de CO<sub>2</sub> que se estima será absorbido, el precio estimado de las ventas de los bonos de carbono y la fuente de financiamiento, que en este caso será con fondos propios. En el PDD se incluirá: Los datos generales del proyecto, la metodología de línea de línea de base y monitoreo, descripción del proyecto y la consulta pública bajo la cual se identifican los beneficios sociales que genera un proyecto.
- 2) El siguiente paso es el de gestionar la carta de aval del Gobierno de Honduras firmada por la Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), donde el gobierno hace constar la participación voluntaria del país y la contribución del proyecto al desarrollo sostenible.
- 3) Una entidad operacional designada (EOD), que no tenga relación o participación en los pasos anteriores, deberá realizar la validación del proyecto. La EOD

- visitará el sitio de la plantación, donde realizará un estudio para demostrar la viabilidad ambiental, social y económica del proyecto.
- 4) Una vez realizada la validación, la institución correspondiente entregará el registro a la empresa promotora, donde se presenta formalmente la aceptación del proyecto.
  - 5) En cualquier momento a lo largo del proceso, se debe negociar y firmar un contrato, o Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones (ERPA, por sus siglas en inglés), entre la empresa promotora y el comprador. En el ERPA se establecerá el tipo de negociación, los términos legales de cumplimiento, definición de la propiedad de los bonos de carbono, quién y cómo se enfrentan los riesgos, las condiciones de compra y venta, la moneda de pago, fechas de pago y entrega de los créditos de carbono.
  - 6) Finalmente, una vez que la autoridad máxima de los estándares, reciba el reporte de certificación, se lleva a cabo la emisión de los CER's, que es la entrega a la empresa promotora los bonos de carbono para el periodo de acreditación.
  - 7) Implementación y monitoreo. Es la puesta en marcha o inicio de las operaciones del proyecto después de su registro. Una vez que el proyecto se encuentra en marcha, se debe monitorear su desarrollo. El monitoreo es la vigilancia y medición sistemática del rendimiento del proyecto, lo cual hace posible medir o calcular la cantidad de reducción/secuestro de emisiones que el proyecto genera.
  - 8) La entidad operacional designada realizará tres visitas al sitio de la plantación y realizará la verificación y certificación comprobando que las reducciones de emisiones son reales. A las reducciones de emisiones que han sido verificadas se les llaman emisiones reducidas verificadas (VER, por sus siglas en inglés).

En la Figura 11, se muestra el cronograma del proceso de certificación descrito anteriormente.

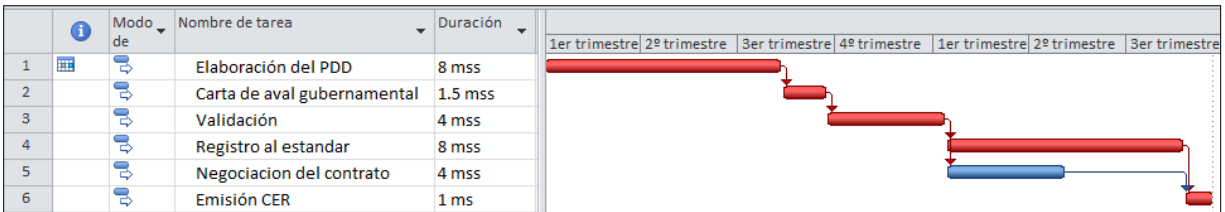


Figura 11. Cronograma de acreditación e implementación al VCS

El tiempo de implementación del proyecto, hasta la emisión del CER, comprende un periodo de 26 meses y medio. En la Figura 9, se muestra el cronograma del proceso de certificación e implementación a seguir para ingresar al mercado de carbonos, formulado a partir del esquema de ciclo de proyecto descrito en el Capítulo II.

El proceso está planificado para iniciar el mes de agosto de 2014, y finalizar el primer trimestre de 2016 con la emisión de los CER's. La duración estimada del proceso de certificación, desde la elaboración del PDD, hasta la entrega de los CER's, es de 26 meses. Las barras rojas representan la ruta crítica, o actividades críticas del proceso, o sea, aquellas que no tienen holgura de tiempo. Las actividades críticas incluyen todas excepto la negociación del contrato, ya que cada actividad debe ser finalizada para poder iniciar la siguiente, excepto la negociación del contrato, que puede realizarse en cualquier momento a lo largo del proceso. En este caso se encuentra programada iniciarse al mismo tiempo que el registro al estándar.

## 6.2 PRESUPUESTO PARA LA CERTIFICACIÓN

Los costos de transacción se refieren a los costos adicionales de un proyecto que se originan a partir de su participación en el mercado de carbono y que corresponden al ciclo de proyectos (Samayoa, 2011). Estos costos de deben a los gastos administrativos y operativos de la empresa promotora y tasas que se deben pagar al gobierno y las instituciones que validan y certifican el proceso. El presupuesto del proceso de certificación tomando en cuenta estos costos se presenta en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Costos del proceso de certificación de Plantación de Teca finca Cuyamapa

<b>Actividad</b>	<b>Monto (L.)</b>
Elaboración del PDD	700,000.00
Carta de aval gubernamental	100.00
Validación	340,000.00
Registro al estándar	8,657.58
Negociación del contrato. ERPA	200,000.00
Emisión CER	8,657.58
Uso de registro del estándar	14,429.30
<b>Total</b>	<b>1,271,844.46</b>

### 6.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Los mercados de carbono, tanto regulados como voluntarios, ofrecen diferentes alternativas en cuanto a su aplicación, dependiendo de las características de cada proyecto. Las alternativas seleccionadas con respecto a la tecnología, estándar y metodología se presentan a continuación:

- 1) Tecnología: Implementación de mejores prácticas de manejo forestal sostenible (IFM – Improved Forestry Management, por sus siglas en inglés). La tecnología IFM se aplica en bosques destinados a continuar siéndolo. El objetivo es incrementar el stock de carbono en esos espacios o reducir el impacto y las emisiones de las actividades de explotación a través de mejores prácticas forestales (Chenost, y otros, s.f.). El cambio de un modo de explotación forestal convencional a un modo de explotación de bajo impacto o a una gestión sostenible.
- 2) Estándar: Estándar Voluntario de Carbono (VCS por sus siglas en inglés). Tomando en cuenta que el tamaño (micro: < 5000 tCO<sub>2</sub>) del proyecto y la tecnología IFM, se propone aplicar el Estándar Voluntario de Carbono (VCS, 2014).

- 3) Metodología: De acuerdo al estándar VCS, la metodología a implementar será la Metodología - Estimation of Woody Biomass Harvesting and Utilization (VMD0025) La metodología incluye las especificaciones a seguir para realizar los inventarios forestales y la estimación de carbono.

Con el fin de presentar de una forma clara y concisa los datos más relevantes de un proyecto, Chenost, et. al. (s.f.) plantea la elaboración de una ficha de identidad del proyecto en la que se resume la información relevante del mismo. La ficha de identidad para este proyecto se presenta a continuación:

País	Honduras
Tecnología	IFM Improved Forestry Management, por sus siglas en ingles
Superficie y especies	153.80 ha de <i>Tectona grandis</i>
Fecha de inicio del proyecto	Año 1
Desarrollador del proyecto	Agropecuaria Cuyamapa
Realización de la pericia de carbono (DDP, etc.)	Agropecuaria Cuyamapa
Financiadores	Fondos propios
Créditos de carbonos generados	18,763 tCO <sub>2</sub> de 2015 a 2023
Periodo de contabilización	Del año 5 al año 20
Metodología	Estimation of Woody Biomass Harvesting and Utilization.(VMD0025)
Estándar	VCS (Estándar Voluntario de Carbono)
Costos de inversión (CAPEX)	L. 2,604,939.8
Costos de operación (OPEX)	L. 8,815,351.33
Ingresos de carbono	Venta de carbono: 18,763 tCO <sub>2</sub>
TIR proyecto	12.365%

Fuente: adaptado de Chenost, et. al. (s.f.)



## BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M., Vargas, J., Velásquez, A., & Etchevers, J. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36(6), 725-736.

AGROLIBANO. (08 de Marzo de 2014). *Grupo Agrolíbano*. Obtenido de [www.agrolibano.com](http://www.agrolibano.com)

Álcantara, V., & Padiila, E. (2005). *Análisis de las emisiones de CO2 y sus factores explicativos en el mundo*. Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Economía Aplicada, Barcelona.

Alvarez, O. (01 de Marzo de 2014). Proyecto Bosques Cuyamapa. (R. Hernandez, & J. Baide, Entrevistadores)

Argeñal, F. (2010). *Variabilidad climática y cambio climático en Honduras*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Tegucigalpa: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA).

Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). *Finanzas Carbono*. Recuperado el 10 de Agosto de 2013, de <http://finanzascarbono.org/>

Bennaceur, K., Gupta, N., Monea, M., Ramakrishnan, T., Randen, T., Sakurai, S., & Whittaker, S. (2004/2005). Captación y almacenamiento de CO2: Una solución al alcance de la mano. *Oilfield Review*, 48-65.

Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: FAO Forestry Paper 134. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>

Camacho, K., & Gómez, C. (2008). *Valoración del Servicio de Fijación y Almacenamiento de Carbono en Bosque Secundario y Plantaciones de Teca, Melina, Pochote, Cocobolo y Ron Ron en San Ramón y Pacífico Central, Costa Rica, 2008*. San José: Fundación Tropical Sierra de Costa Rica.

Carbon Trade Exchange. (28 de Marzo de 2014). *CarbonTradeXchange Acces the World's Carbon Markets*. Obtenido de [www.carbontradexchange.com](http://www.carbontradexchange.com)

CATIE. (2002). *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba: Serie Técnica / Manual Técnico, CATIE No. 50.

CATIE. (2008). *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica: Serie Técnica / Manual Técnico, CATIE No. 83.

Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C. (CICEANA). (2 de agosto de 2013). *Saber Mas...Tratados Internacionales*. Obtenido de <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Tratados%20internacionales.pdf>

CEPAL. (2010). *Gráficos virtuales del cambio climático para América Latina y el Caribe*. Edición especial para la CP16/CP-RP 6, México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos, Santiago de Chile. Recuperado el 05 de agosto de 2013, de [http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/7/37867/LAC\\_Web\\_esp\\_2010-12-02.pdf](http://www.cepal.org/dmaah/noticias/paginas/7/37867/LAC_Web_esp_2010-12-02.pdf)

Chaves, E. (1991). *Teca Tectona grandis L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba: Serie Técnica. Informe Técnico No. 179.

Chenost, C., Gardette, Y.-M., Demenoies, J., Grondard, N., Perrier, M., & Wemaëre, M. (s.f.). *Los mercados de carbono forestal*. Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA DTIE & Risoe), Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), BionCarbon Fund del Banco Mundial, ONF International.

Cubero, J. A., & Rojas, S. R. (1999). *Fijación de carbono en plantaciones de melina (Gmelina arborea Roxb.), teca (Tectona grandisL.f.) y pochote (Bombacopsis quinata Jacq.) en los Cantones de cojancha y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica*. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Ambientales. Heredia: Universidad Nacional.

Enguren C., L. (2004). *El mercado del carbono en américa latina y el caribe: balance y perspectivas*. Comisión Económica de América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, Santiago de Chile. Recuperado el 25 de julio de 2013, de <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/2/14902/lcl2085e.pdf>

FAO. (2003). *Honduras frente al cambio climático*. Serie Centroamericana de Bosques y Cambio Climático, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado el 12 de agosto de 2013, de <http://www.fao.org/climatechange/61880/es/>

FAO. (2010a). Mercados de carbono: Qué tipos existen y cómo funcionan. En C. Seeberg-Elverfeldt, *Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor* (págs. 5-11). Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

FAO. (2010b). El contexto de la financiación del carbono y los créditos de carbono. En C. Seeberg-Elverfeldt, *Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor* (págs. 1-4). Roma.

- FAO. (2010c). *Herramienta de cálculo del Balance de Carbono Ex-ante (EX-ACT), Guía Técnica para la versión 3*. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Roma: EASYPol.
- Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque*, 30(1), 36-47.
- Gadow, K., Sánchez, S., & Aguirre, O. (2004). Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques*, 10(2), 3-16.
- González, E. (2013). *Metodología para la medición del impacto acústico en parques eólicos offshore. Aplicación al caso de Cantabria*. Cantabria, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Universidad de Cantabria.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta ed.). Mexico D.F.: McGrawHill.
- Herrán, C. (2012). *El cambio climático y sus consecuencias para América Latina*. Mexico D.F.: Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES. Recuperado el 12 de agosto de 2013, de <http://www.fes-energiayclima.org/>
- ICF. (2013). *Anuario Estadístico Forestal 2012*. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), Centro de Información y Patrimonio Forestal (CIPF), Tegucigalpa.
- IPCC. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. Recuperado el 20 de julio de 2013, de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

- IPCC. (2000). *Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Informe especial del grupo de trabajo III, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC).
- IPCC. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Hayama, Japan: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES.
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. En IPCC, *Forest Land (Vols. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, págs. 4.1 - 4.83). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC. (2007a). *Cambio Climático 2007 Informe de Síntesis*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Ginebra. Recuperado el 02 de agosto de 2013, de [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)
- IPCC. (2007b). *Evaluación de la vulnerabilidad e impactos del cambio climático y del potencial de adaptación en América Latina*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Lima, Perú. Recuperado el 28 de julio de 2013, de [www.cooperacion-suiza.admin.ch/peru/.../resource\\_es\\_168385.pdf](http://www.cooperacion-suiza.admin.ch/peru/.../resource_es_168385.pdf)
- López, M., De Koning, F., Paredes, H., & Benitez, P. (2002). *Estimaciones de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el Noroccidente de Ecuador*. University of Göttingen, Institute of Soil Science and Forest Nutrition. Quito, Ecuador: Proyecto CO2 - GTZ.
- López, U. (2009). *Guía para la elaboración de proyectos en el marco del mecanismo de desarrollo limpio en el Perú*. Municipalidad Metropolitana de Lima, Subgerencia de Medio Ambiente. Lima: Deutscher Entwicklungsdienst (DED). Recuperado el

20 de julio de 2013, de  
<http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/7456/1/BVCI0005848.pdf>

Najarro, T., & Samayoa, S. (2009). *Mecanismo de desarrollo limpio: conceptos básicos. Guía para la formulación y presentación de proyectos*. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo (SNV), Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) , Tegucigalpa.

Ortega, S., García, A., Ruíz, C., Sabogal, J., & Vargas, J. (2010). *Deforestación evitada. Una guía REDD+ Colombia*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Patrimonio Natural - Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas y Fondo para la Acción Ambiental, Bogotá.

Paredes, J. (2014). *Manual para la Redaccion de Tesis de Postgrado*. Tegucigalpa.

Peters-Stanley, M., & Hamilton, K. (2012). *Dimensión en desarrollo: stado del mercado voluntario de carbono 2012. Resumen Ejecutivo*. Ecosystem Marketplace; Bloomberg New Energy Finance .

PNUD. (2010). *Estudio de alcance, evaluación y oportunidades del sector MDL en Honduras*. Servicio Holandés de Cooperación (SNV). Tegucigalpa: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Porrúa, M. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. *Notas. Revista de Información y Análiss*(16), 7-17. Recuperado el 02 de agosto de 2013, de <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/articulos/ambientales/climatico.pdf>

ProChile. (2012). *Estudio de mercado de Bonos de Carono en el mercado alemán*. Berlin: Oficina Comercial de ProChile.

- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. ICRAF Manual Técnico No 11. , Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF), Lima, Perú.
- Salas, J., & Infante, A. (2006). Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Revista Forestal Latinoamericana*, 40(2006), 47-70.
- Salazar, R., & Albertin, W. (Enero-Marzo de 1974). Requerimientos edáficos y climáticos para *Tectona grandis* L. *Turrialba*, 24(1), 66-71.
- Samayoa, S. (2011). *Guía de orientaciones: Mercado de carbono, oportunidades para proyectos de pequeña escala*. Tegucigalpa: Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo (SNV).
- SERNA. (2010a). *Estrategia Nacional de Cambio Climático Honduras*. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), Dirección Nacional de Cambio Climático, Tegucigalpa. Obtenido de [www.serna.gob.hn](http://www.serna.gob.hn)
- SERNA. (2010b). *Segunda comunicación nacional del Gobierno de Honduras ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), Dirección Nacional de Cambio Climático, Tegucigalpa. Recuperado el 15 de agosto de 2013, de <http://cambioclimaticohn.org/uploaded/content/category/658606473.pdf>
- SERNA. (2013). *Dirección Nacional de Cambio Climático*. Recuperado el 10 de agosto de 2013, de <http://www.cambioclimaticohn.org>
- SGCAN, PNUMA & AECI. (2007). *Bosques y mercado de carbono. Potencial MDL forestal en la Comunidad Andina*. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina (SGCAN), Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA) y Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI).

SRE. (2011). *Oportunidades de Inversión en Negocios Forestales. Honduras is open for business*. Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE).

Till, N., & Henders, S. (2007). *Guía sobre los mercados y la comercialización de proyectos MDL forestales*. Serie técnica. Manual técnico / CATIE ; no. 65, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba. Recuperado el 30 de julio de 2013, de <http://cambioclimaticohn.org/uploaded/content/category/1471092095.pdf>

VCS. (15 de marzo de 2014). *Verified Carbon Standard (VCS)*. Obtenido de Verified Carbon Standard a Global Benchmark for Carbon: [www.v-c-s.org](http://www.v-c-s.org)

Weber, P. L. (1993). *Tectona grandis* L.f Teca. New Orleans, United States: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Recuperado el 01 de agosto de 2013, de [http://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/sm\\_iitf064%20%20\(18\).pdf?](http://www.fs.fed.us/global/iitf/pubs/sm_iitf064%20%20(18).pdf?)



## ANEXOS

### **Anexo 1. Glosario de términos y definiciones**

*Almacenamiento de carbono:* Cantidad de carbono (C), contenido en la biomasa de los árboles.

*Alometría:* Ciencia a partir de la cual se puede correlacionar una variable difícil de medir (biomasa) en función de una característica fácilmente mensurable (DAP).

*Altura comercial (HC):* Variable dasométrica medida en los árboles, correspondiente a la longitud desde el suelo hasta la primera bifurcación de la planta.

*Altura total (HT):* Variable dasométrica medida en los árboles, correspondiente a la longitud desde el suelo hasta el ápice de la planta.

*Bifurcación:* División del fuste del árbol en dos o más ejes, en especies de hoja ancha es donde inicia la copa del árbol.

*Biomasa:* Cantidad de materia orgánica que conforma un ser vivo, en los árboles varía según la parte de la planta (hojas, madera, corteza, raíces, etc.).

*Dasometría:* Ciencia que trata de la medición y relación de las variables árboles y bosques.

*Diámetro a la altura del pecho (DAP):* Variable dasométrica medida en el fuste de los árboles, a 1.3 metros de altura.

*Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):* Compuesto químico (formado por dos átomos de oxígeno y uno de carbono) resultante de la reacción de la quema de combustibles fósiles y la respiración.

*Establecimiento de plantaciones:* Proceso por el cual se realiza la plantación de árboles y está determinado por el lapso de tiempo en el cual las plantas alcanzan la madurez que reduce los riesgos de mortalidad natural y provocada. Varía según la especie.

*Factor de expansión:* Coeficiente numérico que permite calcular el contenido de carbono hacia otras partes de la planta partiendo de una variable conocida.

*Fijación de carbono:* Capacidad de las plantas de absorción de dióxido de carbono atmosférico.

*Fotosíntesis:* Proceso metabólico de las plantas verdes a través del cual fabrican azúcares y otros compuestos como forma de alimentación.

*Fracción de carbono:* Proporción de carbono contenido en la biomasa de un ser vivo

*Gases de Efecto Invernadero (GEI):* Conjunto de gases encontrados en la atmósfera capaces de retener el calor originado la radiación solar. Su función es regular la temperatura de la Tierra. El exceso de éstos gases es el causante del fenómeno climático llamado calentamiento global.

*Manejo forestal:* Conjunto de actividades desarrolladas en bosques naturales o artificiales que consiste en el control de elementos del ecosistema con el fin de obtener un bien o producto deseado.

*Plantación forestal:* Agrupación de árboles plantados (bosque artificial) generalmente de forma sistemática con el fin de obtener un bien o servicio.

*Silvicultura:* Cultivo de árboles y bosques.

*Tectona grandis:* Especie forestal originaria del Sudeste asiático, ampliamente distribuida en los trópicos por la diversidad de usos de su madera.

*Turno de rotación:* Periodo de tiempo determinado para la producción de un ciclo de producción de un cultivo forestal cuyo producto es madera.

*Volumen comercial:* cantidad de madera utilizable del fuste de un árbol después del proceso de aserrío.

## **Anexo 2. Siglas, símbolos y acrónimos**

A/R	Forestación y reforestación (por sus siglas en inglés).
AND	Autoridad Nacional Designada para el MDL.
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
CDCF	Fondo de Carbono de Desarrollo Comunitario (por sus siglas en inglés).
CER	Reducciones Certificadas de Emisiones (por sus siglas en inglés).
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
DAP	Diámetro a la altura del pecho
EOD	Entidad Operacional Designada acreditada por la Junta Ejecutiva del MDL o eñl estándar de mercado voluntario
ERPA	Contrato de Compra Venta de Reducciones Certificadas de Emisiones (por sus siglas en inglés).
FAO	Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (por sus siglas en inglés).
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
HC	Altura comercial
HT	Altura total
IC	Implementación Conjunta.
JE	Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio.
ICER	Reducciones Certificadas de Emisiones de larga duración (por sus siglas en inglés).
LULUCF	Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura (por sus siglas en inglés).
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio.
PDD	Documento de Diseño de Proyecto (por sus siglas en inglés).
PIN	Nota de Idea de Proyecto (por sus siglas en inglés).
PK	Protocolo de Kyoto.
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
SECE	Sistema Europeo de Comercio de Emisiones de GEI.
SGCAN	Secretaría General de la Comunidad Andina.
tCER	Reducciones Certificadas de Emisiones temporales (por sus siglas en inglés).
tCO <sub>2</sub>	Toneladas métricas de Dióxido de Carbono
tCO <sub>2</sub> e	Toneladas métricas de Dióxido de Carbono Equivalente
UE	Unión Europea.

**Anexo 3. Formulario para registro de datos de campo**

**Sitio:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

**Parcela:** \_\_\_\_\_ **Radio:** \_\_\_\_\_ **UTM 16P** X \_\_\_\_\_ Y \_\_\_\_\_

**Especie:** \_\_\_\_\_ **Edad:** \_\_\_\_\_ Años

No	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	No	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	No	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)
1				26				51			
2				27				52			
3				28				53			
4				29				54			
5				30				55			
6				31				56			
7				32				57			
8				33				58			
9				34				59			
10				35				60			
11				36				61			
12				37				62			
13				38				63			
14				39				64			
15				40				65			
16				41				66			
17				42				67			
18				43				68			
19				44				69			
20				45				70			
21				46				71			
22				47				72			
23				48				73			
24				49				74			
25				50				75			

#### Anexo 4. Cuestionario de entrevista dirigida

**Sitio:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

1. ¿Quién es el propietario (a) de la Finca Cuyamapa?
2. ¿Cómo surge la idea del proyecto Bosques Cuyamapa?
3. ¿Quiénes fueron los participantes en el establecimiento de las plantaciones?
4. ¿Por qué *Tectona grandis* comprende la mayor superficie de plantaciones?
5. ¿Cuál es la edad de la plantación de *Tectona grandis*?
6. ¿Cuáles son las actividades de establecimiento y manejo de la plantación ejecutados a la fecha y cuáles son los costos de estas?
7. ¿Cuáles son los productos obtenidos de las intervenciones silviculturales y los ingresos percibidos por la venta de éstos?

## Anexo 5. Coordenadas geográficas parcelas de muestreo

No	ID parcela	X_COORD	Y_COORD
1	1	617549	1634829
2	10	618049	1634729
3	14	617949	1634629
4	19	617249	1634529
5	22	617549	1634529
6	43	617649	1634329
7	47	618049	1634329
8	60	617849	1634129
9	64	618249	1634129
10	73	617049	1633929
11	81	617949	1633929
12	86	617149	1633829
13	91	617649	1633829
14	98	618349	1633829
15	100	617349	1633729
16	110	618349	1633729
17	115	617949	1633629
18	118	618249	1633629
19	125	618249	1633529
20	130	618049	1633429

Fuente: tomadas con GPS Garmin 60CSx; Proyección UTM, Datum: WGS 84, Zona: 16P

**Anexo 6. Resultados de muestreo preliminar**

Parcela	Área (ha)	DAP (cm)	HC (m)	HT (m)	Valores en la parcela					Valores Extrapolados				
					Arb	AB (m <sup>2</sup> )	VC (m <sup>3</sup> )	VT (m <sup>3</sup> )	Bio (ton)	Arb/ha	AB (m <sup>2</sup> /ha)	VC (m <sup>3</sup> /ha)	VT (m <sup>3</sup> /ha)	Bio (ton/ha)
1	0.05	15.0	6.7	12.7	30	0.543	1.975	3.265	3.018	600	10.85	39.50	65.29	60.37
10	0.05	14.6	6.7	12.7	36	0.613	2.115	3.587	3.363	720	12.25	42.31	71.73	67.25
14	0.05	16.3	6.6	11.9	19	0.400	1.317	2.153	2.275	380	7.99	26.33	43.07	45.50
19	0.05	16.0	6.6	12.2	25	0.507	1.713	2.808	2.870	500	10.14	34.26	56.16	57.40
22	0.05	15.3	6.5	11.5	24	0.449	1.389	2.363	2.504	480	8.98	27.77	47.26	50.08
43	0.05	17.7	6.8	13.0	17	0.427	1.595	2.468	2.519	340	8.53	31.89	49.36	50.38
47	0.05	15.4	6.9	13.5	37	0.704	2.674	4.336	3.950	740	14.09	53.47	86.72	78.99
60	0.05	15.2	6.9	14.0	27	0.492	1.941	3.151	2.729	540	9.85	38.82	63.01	54.58
64	0.05	14.3	6.6	12.2	25	0.407	1.311	2.285	2.214	500	8.14	26.21	45.69	44.28
73	0.05	15.1	6.8	13.1	31	0.566	2.058	3.396	3.148	620	11.33	41.16	67.91	62.95
81	0.05	14.9	6.5	11.6	25	0.442	1.397	2.396	2.449	500	8.85	27.93	47.93	48.97
86	0.05	17.7	6.8	12.9	24	0.612	2.322	3.576	3.652	480	12.23	46.43	71.52	73.04
91	0.05	16.9	6.7	12.8	30	0.683	2.467	3.904	3.954	600	13.65	49.34	78.09	79.09
98	0.05	17.8	7.1	14.5	19	0.482	2.078	3.143	2.853	380	9.64	41.56	62.86	57.06
100	0.05	17.9	6.8	13.3	24	0.618	2.435	3.723	3.689	480	12.37	48.70	74.47	73.78
110	0.05	18.2	7.1	15.0	19	0.501	2.229	3.339	2.978	380	10.03	44.58	66.79	59.57
115	0.05	16.1	6.7	12.5	27	0.556	1.916	3.118	3.152	540	11.11	38.32	62.37	63.05
118	0.05	16.5	6.6	12.4	29	0.633	2.227	3.570	3.641	580	12.67	44.55	71.40	72.83
125	0.05	17.5	7.1	14.5	28	0.682	2.874	4.388	3.993	560	13.64	57.49	87.75	79.86
130	0.05	20.9	7.5	17.3	17	0.595	3.136	4.473	3.754	340	11.90	62.73	89.47	75.07
<b>SUMA</b>	<b>1.00</b>				<b>513</b>	<b>10.912</b>	<b>41.167</b>	<b>65.442</b>	<b>62.705</b>					

## Anexo 7. Flujo de inversión, escenario 1 (Sin certificación)

FLUJO DE CAJA SIN CERTIFICACION											
	AÑOS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Venta de madera</b>											
Raleo1					741,590.96						
Raleo2										7,190,207.96	
Raleo3											
cosecha final											
<b>Venta de bonos de carbono</b>											
Venta de tCO <sub>2</sub>											
<b>INGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>741,590.96</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>7,190,207.96</b>
<b>Venta de bonos de carbono</b>											
Elaboración del PDD											
Carta de aval gubernamental											
Validación											
Registro al estándar											
Negociación del contrato. ERPA											
Emisión CER											
Uso de registro del estándar											
Verificación y monitoreo periódico											
<b>Venta de madera</b>											
Invernadero	412,473.87										
Produccion de plantas	695,386.10										
Establecimiento	1,497,079.84										
Limpia1		384,487.06	461,384.47	384,487.06	307,589.65	307,589.65					
Limpia2		384,487.06	461,384.47	384,487.06							
Limpia3		384,487.06									
Fertilizaciones			122,830.80	122,830.80	122,830.80			307,589.65			
Proteccion		102,359.00	102,359.00	102,359.00	102,359.00						
Deshije				122,830.80	122,830.80						
Podas					276,369.30	276,369.30	276,369.30	276,369.30	276,369.30		
<b>EGRESOS</b>	<b>2,604,939.80</b>	<b>1,255,820.19</b>	<b>1,147,958.75</b>	<b>1,116,994.72</b>	<b>931,979.55</b>	<b>706,789.75</b>	<b>276,369.30</b>	<b>583,958.95</b>	<b>276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Flujo neto del mes	-2,604,939.80	-1,255,820.19	-1,147,958.75	-1,116,994.72	-931,979.55	34,801.21	-276,369.30	-583,958.95	-276,369.30	0.00	7,190,207.96
<b>SALDO FINAL DE CAJA</b>	<b>-2,604,939.80</b>	<b>-1,255,820.19</b>	<b>-1,147,958.75</b>	<b>-1,116,994.72</b>	<b>-931,979.55</b>	<b>34,801.21</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>-583,958.95</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>7,190,207.96</b>



	AÑOS									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Venta de madera</b>										
Raleo1										
Raleo2										
Raleo3					14,675,209.83					
cosecha final										20,267,082.30
<b>Venta de bonos de carbono</b>										
Venta de tCO <sub>2</sub>										
<b>INGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>14,675,209.83</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20,267,082.30</b>
<b>Venta de bonos de carbono</b>										
Elaboración del PDD										
Carta de aval gubernamental										
Validación										
Registro al estándar										
Negociación del contrato. ERPA										
Emisión CER										
Uso de registro del estándar										
Verificación y monitoreo periódico										
<b>Venta de madera</b>										
Invernadero										
Producción de plantas										
Establecimiento										
Limpia1										
Limpia2										
Limpia3										
Fertilizaciones										
Protección										
Deshije										
Podas		276,369.30	276,369.30							
<b>EGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>276,369.30</b>	<b>276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Flujo neto del mes	0.00	-276,369.30	-276,369.30	0.00	14,675,209.83	0.00	0.00	0.00	0.00	20,267,082.30
<b>SALDO FINAL DE CAJA</b>	<b>0.00</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>14,675,209.83</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20,267,082.30</b>

<b>i =</b>	<b>10.00%</b>
<b>VNA</b>	<b>2,395,647.46</b>
<b>TIR</b>	<b>12.555%</b>
<b>Relación beneficio-coste</b>	<b>1.92</b>

**Anexo 8. Flujo de inversión, escenario 2 (Certificación en año 12)**

FLUJO DE CAJA CON CERTIFICACIÓN DESDE AÑO 12											
	AÑOS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Raleo1					741,590.96						
Raleo2										7,190,207.96	
Raleo3											
Cosecha final											
Venta de tCO <sub>2</sub>											
<b>INGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>741,590.96</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>7,190,207.96</b>
Elaboración del PDD											
Carta de aval gubernamental											
Validación											
Registro al estándar											
Negociación del contrato. ERPA											
Emisión CER											
Uso de registro del estándar											
Verificación y monitoreo periódico											
Invernadero	412,473.87										
Producción de plantas	695,386.10										
Establecimiento	1,497,079.84										
Limpia1		384,487.06	461,384.47	384,487.06	307,589.65	307,589.65					
Limpia2		384,487.06	461,384.47	384,487.06							
Limpia3		384,487.06									
Fertilizaciones			122,830.80	122,830.80	122,830.80			307,589.65			
Protección		102,359.00	102,359.00	102,359.00	102,359.00						
Deshierbe				122,830.80	122,830.80						
Podas					276,369.30	276,369.30	276,369.30	276,369.30	276,369.30		
<b>EGRESOS</b>	<b>2,604,939.80</b>	<b>1,255,820.19</b>	<b>1,147,958.75</b>	<b>1,116,994.72</b>	<b>931,979.55</b>	<b>706,789.75</b>	<b>276,369.30</b>	<b>583,958.95</b>	<b>276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Flujo neto del mes	-2,604,939.80	-1,255,820.19	-1,147,958.75	-1,116,994.72	-931,979.55	34,801.21	-276,369.30	-583,958.95	-276,369.30	0.00	7,190,207.96
<b>SALDO FINAL DE CAJA</b>	<b>-2,604,939.80</b>	<b>-1,255,820.19</b>	<b>-1,147,958.75</b>	<b>-1,116,994.72</b>	<b>-931,979.55</b>	<b>34,801.21</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>-583,958.95</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>7,190,207.96</b>

	AÑOS									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Raleo1										
Raleo2										
Raleo3					14,675,209.83					
Cosecha final										20,267,082.30
Venta de tCO <sub>2</sub>		215,575.75	215,802.35	215,273.61	214,291.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>INGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>215,575.75</b>	<b>215,802.35</b>	<b>215,273.61</b>	<b>14,889,501.49</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20,267,082.30</b>
Elaboración del PDD	35,000.00									
Carta de aval gubernamental	5.00									
Validación	17,000.00									
Registro al estándar	432.88									
Negociación del contrato. ERPA	10,000.00									
Emisión CER	432.88									
Uso de registro del estándar	721.47									
Verificación y monitoreo periódico		211,420.00	211,420.00	211,420.00	211,420.00	211,420.00	211,420.00	211,420.00	211,420.00	211,420.00
Invernadero										
Producción de plantas										
Establecimiento										
Limpia1										
Limpia2										
Limpia3										
Fertilizaciones										
Protección										
Deshije										
Podas		276,369.30	276,369.30							
<b>EGRESOS</b>	<b>63,592.22</b>	<b>487,789.30</b>	<b>487,789.30</b>	<b>211,420.00</b>	<b>211,420.00</b>	<b>211,420.00</b>	<b>211,420.00</b>	<b>211,420.00</b>	<b>211,420.00</b>	<b>211,420.00</b>
Flujo neto del mes	-63,592.22	-272,213.55	-271,986.95	3,853.61	14,678,081.49	-211,420.00	-211,420.00	-211,420.00	-211,420.00	20,055,662.30
<b>SALDO FINAL DE CAJA</b>	<b>-63,592.22</b>	<b>-272,213.55</b>	<b>-271,986.95</b>	<b>3,853.61</b>	<b>14,678,081.49</b>	<b>-211,420.00</b>	<b>-211,420.00</b>	<b>-211,420.00</b>	<b>-211,420.00</b>	<b>20,055,662.30</b>

<b>i =</b>	<b>10.00%</b>
<b>VNA</b>	<b>2,185,794.26</b>
<b>TIR</b>	<b>12.365%</b>
<b>Relación beneficio-costo</b>	<b>1.84</b>

### Anexo 9. Flujo de inversión, escenario 3 (Certificación en año 5)

FLUJO DE CAJA CON CERTIFICACIÓN DESDE AÑO 5											
	ANOS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Venta de madera</b>											
Raleo1					741,590.96						
Raleo2										7,190,207.96	
Raleo3											
Cosecha final											
<b>Venta de bonos de carbono</b>											
Venta de tCO <sub>2</sub>					337,715.20	256,213.36	376,917.65	400,106.78	414,760.49	416,120.11	
<b>INGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1,079,306.15</b>	<b>256,213.36</b>	<b>376,917.65</b>	<b>400,106.78</b>	<b>414,760.49</b>	<b>7,606,328.07</b>
<b>Venta de bonos de carbono</b>											
Elaboración del PDD					700,000.00						
Carta de aval gubernamental					100.00						
Validación					340,000.00						
Registro al estándar					8,657.58						
Negociación del contrato. ERPA					200,000.00						
Emisión CER					8,657.58						
Uso de registro del estándar					14,429.30						
Verificación y monitoreo periódico							211,420.00				
<b>Venta de madera</b>											
Invernadero	412,473.87										
Producción de plantas	695,386.10										
Establecimiento	1,497,079.84										
Limpia1		384,487.06	461,384.47	384,487.06	307,589.65	307,589.65					
Limpia2		384,487.06	461,384.47	384,487.06							
Limpia3		384,487.06									
Fertilizaciones			122,830.80	122,830.80	122,830.80			307,589.65			
Protección		102,359.00	102,359.00	102,359.00	102,359.00						
Deshije				122,830.80	122,830.80						
Podas					276,369.30	276,369.30	276,369.30	276,369.30	276,369.30		
<b>EGRESOS</b>	<b>2,604,939.80</b>	<b>1,255,820.19</b>	<b>1,147,958.75</b>	<b>1,116,994.72</b>	<b>931,979.55</b>	<b>1,978,634.21</b>	<b>487,789.30</b>	<b>583,958.95</b>	<b>276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Flujo neto del mes	-2,604,939.80	-1,255,820.19	-1,147,958.75	-1,116,994.72	-931,979.55	-899,328.06	-231,575.94	-207,041.30	123,737.48	414,760.49	7,606,328.07
Inversión inicial											
<b>SALDO FINAL DE CAJA</b>	<b>-2,604,939.80</b>	<b>-1,255,820.19</b>	<b>-1,147,958.75</b>	<b>-1,116,994.72</b>	<b>-931,979.55</b>	<b>-899,328.06</b>	<b>-231,575.94</b>	<b>-207,041.30</b>	<b>123,737.48</b>	<b>414,760.49</b>	<b>7,606,328.07</b>

	AÑOS									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Venta de madera</b>										
Raleo1										
Raleo2										
Raleo3					14,675,209.83					
Cosecha final										20,267,082.30
<b>Venta de bonos de carbono</b>										
Venta de tCO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>INGRESOS</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>14,675,209.83</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20,267,082.30</b>
<b>Venta de bonos de carbono</b>										
Elaboración del PDD										
Carta de aval gubernamental										
Validación										
Registro al estándar										
Negociación del contrato. ERPA										
Emisión CER										
Uso de registro del estándar										
Verificación y monitoreo periódico	211,420.00					211,420.00				211,420.00
<b>Venta de madera</b>										
Invernadero										
Producción de plantas										
Establecimiento										
Limpia1										
Limpia2										
Limpia3										
Fertilizaciones										
Protección										
Deshije										
Podas		276,369.30	276,369.30							
<b>EGRESOS</b>	<b>211,420.00</b>	<b>276,369.30</b>	<b>276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>211,420.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>211,420.00</b>
Flujo neto del mes	-211,420.00	-276,369.30	-276,369.30	0.00	14,675,209.83	-211,420.00	0.00	0.00	0.00	20,055,662.30
Inversión inicial										
<b>SALDO FINAL DE CAJA</b>	<b>-211,420.00</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>-276,369.30</b>	<b>0.00</b>	<b>14,675,209.83</b>	<b>-211,420.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>20,055,662.30</b>

<b>i =</b>	<b>10.000%</b>
<b>VNA</b>	<b>2,405,774.93</b>
<b>TIR</b>	<b>12.537%</b>
<b>Relación beneficio-costo</b>	<b>1.92</b>

Anexo 10. Distribución t-Student

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238