

**CUANTIFICACIÓN DE LA FIJACIÓN Y  
REDUCCIÓN POTENCIAL DE EMISIONES  
DE CO<sub>2</sub> EN LA CLASE DE MANEJO *Pinus  
maximinoi/Pinus oocarpa* DEL CERRO  
UYUCA, HONDURAS.**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado  
Académico de Licenciatura.

presentado por

**Rafael Flor Gavilanes**

**Zamorano, Noviembre del 2000**

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

---

Rafael Flor Gavilanes

Zamorano, Honduras  
Noviembre, 2000

**CUANTIFICACIÓN DE LA FIJACIÓN Y REDUCCIÓN POTENCIAL DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN LA CLASE DE MANEJO *Pinus maximinoi*/*Pinus oocarpa* DEL CERRO UYUCA (HONDURAS).**

presentado por

Rafael Flor Gavilanes

Aprobada:

---

George Pilz, Ph. D.  
Asesor Principal

---

Peter Doyle, M. Sc.  
Coordinador de Carrera

---

Louis Labelle, M. Sc.  
Asesor

---

Dr. Antonio Flores  
Decano Académico

---

Marco Granadino, M. Sc.  
Asesor

---

Dr. Keith Andrews  
Director

---

George Pilz, Ph. D.  
Coordinador PIA

## **DEDICATORIA**

A mis padres Rafael y Geovanna por acompañarme en cada paso que he dado, por ser mi ejemplo, mi apoyo y mi inspiración. Por haber dado parte de su vida a su hijo y haber confiado en mí. Mil gracias.

A mis tíos Martha y Giuseppe por estar conmigo siempre, por su ayuda incondicional, por escuchar, entender y guiar mi comportamiento. Por amarme como su hijo. Mil gracias.

A Ezgi por la fuerza que me brinda, por estar a mi lado cada día en cada paso que doy, por ser mi compañera, mi amiga y mi amor. No ha permitido que deje de soñar.

A mis hermanos Juan José, Giacomo y Lily, por darme esta oportunidad, por esperar con paciencia mi regreso y no olvidar que los amo.

A mi abuelitos Gonzalo y Lily, por su trabajo y su enseñanza, han formado una familia excepcional.

A Luis Raúl, por estos cuatro años de su amistad, confianza y apoyo, eres una gran persona y vas a llegar muy lejos. Eres mi hermano. Gracias por todo.

Al resto de mi familia y amigos, gracias por su apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que hicieron posible este trabajo, en especial:

Al doctor Pilz, por su apoyo incondicional y la confianza que me ha brindado.

A los señores Louis Labelle y Denis Butoe de la Oficina Canadiense para el Desarrollo, por el tiempo y asistencia brindada para la realización de este trabajo.

Al profesor Miguel Avedillo, por sus acertados consejos y la ayuda brindada en la parte estadística del trabajo.

A Jorge Iván Restrepo, por su apoyo y el tiempo que me dedicó.

A Marco Granadino, por su gran apoyo, por sus consejos y esfuerzo puesto en el presente trabajo, mil gracias.

Al profesor Nelson Agudelo, por su valiosa e incondicional ayuda.

A Joaquín Romero por el apoyo y revisiones realizadas al trabajo.

A Darío Mejía, por la ayuda en la parte técnica, por coordinar las actividades y facilitar el trabajo.

A Claudio Trabanino y Emilio Cabrera por su asesoramiento.

A Yanú Ramírez por orientarme con el trabajo y aterrizar mis ideas. Gracias.

A mis colegas: Juan Carlos, Shadia, Paola, por su apoyo y ayuda.

Al personal técnico y administrativo de la carrera Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, por las facilidades prestadas.

Al personal de campo de la Zamoempresa de cultivos forestales, por trabajar duro sin tener en cuenta la paga ni el horario.

A ARCAMO (Marco, Andrés, Julio), gracias equipo por su amistad, asesoramiento y por hacer que sea objetivo. Sin duda los mejores momentos los compartimos.

## **AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES**

Agradezco a mis padres y tíos por el financiamiento brindado durante los tres años del programa de agrónomo y parte del programa de ingeniería.

Agradezco al proyecto Post Mitch y a la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano por el financiamiento parcial brindado durante el programa de ingeniería.

Agradezco a la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, a la carrera Desarrollo Socioeconómico y Ambiente y a la Oficina Canadiense para el Desarrollo por el apoyo logístico y técnico brindado para la realización de este trabajo.

## RESUMEN

Flor Gavilanes, Rafael. 2000. Cuantificación de la fijación y reducción potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> en la clase de manejo *Pinus maximinoi*/*Pinus oocarpa* del cerro Uyuca, Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras, 85 p.

Una de las consecuencias del cambio climático es el calentamiento global producido por el incremento en la concentración de los gases del efecto invernadero, principalmente del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Entre 1850 y 1998, aproximadamente 270 ( $\pm$  30) Giga toneladas (Gt) de carbono (C) han sido emitidas como CO<sub>2</sub> a la atmósfera, como consecuencia de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento. Por lo tanto es necesario establecer un área equivalente a 450 millones de hectáreas para que sea secuestrada esta cantidad de C emitido. El trabajo tuvo como objetivo cuantificar la fijación y reducción potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> en la clase de manejo *P. oocarpa*/*P. maximinoi* en el cerro Uyuca, para este fin se propuso una metodología adaptada a la zona teniendo como base la metodología aprobada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático y el plan de manejo forestal del bosque. El procedimiento consistió en delimitar el área y establecer las parcelas de muestreo de forma sistemática (una por hectárea). Se midieron altura total, diámetro a la altura del pecho y número de árboles en cada parcela de 400 m<sup>2</sup> (20 × 20 m). Los datos analizados estadísticamente sirvieron para calcular el volumen por hectárea. Esta biomasa total fue corregida, al ser multiplicada por el factor de expansión del volumen (FEV), para luego ser convertida a biomasa de materia seca por hectárea. Estos valores fueron multiplicados por el factor de expansión de la biomasa (FEB). La biomasa corregida fue multiplicada por la cantidad de carbono contenida, obteniendo la cantidad de C secuestrada por hectárea en la biomasa sobre el suelo. El mismo procedimiento se aplicó para los cálculos efectuados en las siete parcelas de muestreo permanente de Zamorano, tomando como base los datos de 22 años. Los resultados muestran que las parcelas establecidas poseen un potencial de secuestro de 4 t C/ha entre los 9 y 30 años de edad, mientras en las parcelas naturales es de 3 t C/ha entre los 18 y 33 años de edad de la plantación, fijando 141 t  $\pm$  30.28 t C/ha las parcelas establecidas y 131.13  $\pm$  15.38 t C/ha en las parcelas naturales. El potencial de captura de carbono es bueno (aproximadamente 10050  $\pm$  8250 t C en los 75 ha) pudiendo generar \$10.4 – 40/ha en proyectos de mitigación del cambio climático, adicionales a los que se obtendrán por la madera. Los volúmenes y el potencial de captura de carbono varían de acuerdo al manejo que se le dé al bosque, es necesario determinar un buen manejo y así maximizar beneficios.

**Palabras claves:** Biomasa, captura, parcelas establecidas, parcelas naturales, volumen.

## **NOTA DE PRENSA**

### **VENTA DE CO<sub>2</sub>, UNA ALTERNATIVA PARA LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO.**

El incremento en la temperatura del mundo, el cambio de los niveles de los océanos, el cambio en la humedad del suelo y del ambiente en general han hecho que los científicos se reúnan con el objetivo de investigar cuáles son las causas de este cambio climático.

En los últimos años las investigaciones han demostrado que existe una acumulación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases conocidos como Gases del Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. Dichos gases forman una película que impide que ciertos niveles de radiación solar sean refractados y con ello se produzca un incremento en la temperatura global, así como la destrucción de la capa de ozono que protege a la tierra de los rayos ultravioletas. Al respecto, se han iniciado medidas tanto en el ámbito regional, nacional y mundial, así existen ciertos países en Europa que han prohibido la circulación vehicular durante ciertos días de la semana, en países de América del Sur se ha prohibido salir al sol en verano para prevenir el cáncer de la piel.

Ciertas investigaciones han revelado que para capturar el exceso de CO<sub>2</sub> se debe sembrar 450 millones de hectáreas con bosque. Este tipo de vegetación, a través de la fotosíntesis, toma dicho gas de la atmósfera y lo transforma en carbohidratos y celulosa que serán utilizados y almacenados. Con base en esta premisa, se firmó el Protocolo de Kioto en 1997, dicho documento tiene como objetivo principal el reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 5% de aquellos niveles que se tenían en 1990, en el período comprendido entre el 2008 y el 2012. Para cumplir este objetivo se han diseñado una serie de mecanismos que permitan a los países cumplir su compromiso de reducción de emisiones.

Dentro del Protocolo se crearon los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) los cuales tienen por objetivo, el implementar proyectos de mitigación del cambio climático, como son conocidos en países en desarrollo. Dichos proyectos servirán a los países industrializados para cumplir sus compromisos a menor costo y, por otro lado, permitirán a los países en desarrollo generar ingresos financieros y tecnológicos adicionales que permitan reactivar las economías en crisis. Honduras tiene un gran potencial para implementar este tipo de proyectos, casi el 50% del país está cubierta de bosque latifoliado y de pino. Actualmente se están dando los primeros pasos en materia ambiental, convirtiendo a los proyectos de mitigación del cambio climático en una alternativa válida para atraer inversión internacional y generar ingresos adicionales.



## **CONTENIDO**

|   |             |
|---|-------------|
| <b>DEDICATORIA</b>  | <b>IV</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>  | <b>V</b>    |
| <b>AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES</b>                        | <b>VI</b>   |
| <b>RESUMEN</b>  | <b>VII</b>  |
| <b>NOTA DE PRENSA</b>   | <b>VIII</b> |
| <b>CONTENIDO</b>  | <b>IX</b>   |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b>                                      | <b>XIII</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>                                      | <b>XV</b>   |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>                                       | <b>XVI</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>1</b>    |
| <b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b>                              | <b>3</b>    |
| <b>2.1 UNA BREVE HISTORIA</b>                                 | <b>3</b>    |
| <b>2.2 EL EFECTO INVERNADERO</b>                              | <b>3</b>    |
| <b>2.3 GASES DEL EFECTO INVERNADERO</b>                       | <b>4</b>    |
| 2.3.1 Dióxido carbónico.                                      | 4           |
| 2.3.2 Metano  | 4           |
| 2.3.3 Los Fluoro-Cloro-Carbonos.                              | 5           |
| 2.3.4 Los óxidos nitrosos.                                    | 5           |
| 2.3.5 El ozono troposférico.                                  | 5           |
| <b>2.4 EL CAMBIO CLIMÁTICO</b>                                | <b>5</b>    |
| <b>2.5 EL CICLO DE CARBONO EN LA NATURALEZA</b>               | <b>6</b>    |
| <b>2.6 EL CICLO DE CARBONO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.</b> | <b>6</b>    |
| <b>2.7 SERVICIOS AMBIENTALES QUE BRINDAN LOS BOSQUES.</b>     | <b>7</b>    |
| <b>2.8 EL PROTOCOLO DE KIOTO</b>                              | <b>8</b>    |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>2.9</b>  | <b>LOS MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO (MDL).</b>  | <b>9</b>  |
| <b>2.10</b> | <b>TIPOS DE PROYECTOS PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.</b>                           | <b>11</b> |
| <b>2.11</b> | <b>PASOS QUE DEBEN SEGUIR LOS PROYECTOS FORESTALES DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.</b>   | <b>12</b> |
| 2.11.1      | Línea base.  | 13        |
| 2.11.2      | Monitoreo y evaluación   | 13        |
| 2.11.3      | Frecuencia y duración:   | 14        |
| 2.11.4      | Mediciones de cambios brutos en el almacenaje de carbono:                                    | 14        |
| 2.11.5      | Muestreo:  | 14        |
| 2.11.6      | Reporte:   | 15        |
| <b>2.12</b> | <b>LA IMPORTANCIA DE LA CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO.</b>                           | <b>16</b> |
| <b>2.13</b> | <b>INFORMACIÓN PARA POSIBLES INVERSIONISTAS EN HONDURAS.</b>                                 | <b>17</b> |
| 2.13.1      | Política y economía  | 17        |
| 2.13.2      | Estabilidad política:  | 18        |
| 2.13.3      | Crecimiento económico  | 18        |
| 2.13.4      | La moneda  | 18        |
| 2.13.5      | Políticas para la inversión externa e incentivos.  | 18        |
| 2.13.6      | Nuevas leyes que afectan a las inversiones en Mecanismos de Desarrollo Limpio.               | 18        |
| 2.13.7      | Población en miles de personas   | 19        |
| 2.13.8      | Tasa de deforestación y consumo de leña en carbono potencial y dióxido de carbono potencial. | 19        |
| 2.13.9      | Tenencia de la tierra de acuerdo al tipo de bosque en Honduras (1996)                        | 20        |
| 2.13.10     | Contenido de carbono de acuerdo al tipo de bosque en Honduras (1996)                         | 20        |
| <b>2.14</b> | <b>LA OFICINA DE IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.15</b> | <b>MARCO LEGAL.</b>  | <b>21</b> |
| <b>3</b>    | <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>  | <b>23</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>ASPECTOS POLÍTICOS</b>  | <b>23</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>ASPECTOS FÍSICOS</b>  | <b>23</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO</b>  | <b>23</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.</b>   | <b>25</b> |
| <b>3.5</b>  | <b>MAPEO CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.</b>   | <b>25</b> |
| <b>3.6</b>  | <b>DIVISIÓN DE LA ZONA POR PENDIENTES</b>  | <b>26</b> |
| <b>3.7</b>  | <b>LEVANTAMIENTO Y DIGITALIZACIÓN DEL MAPA DE PENDIENTES.</b>                                | <b>26</b> |
| <b>3.9</b>  | <b>PARCELAS DE MUESTREO PERMANENTE</b>   | <b>27</b> |
| <b>3.10</b> | <b>TABLAS DE VOLUMEN Y TARIFAS.</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.11</b> | <b>CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO EN LA BIOMASA.</b>   | <b>28</b> |
| 3.11.1      | Volumen del fuste en coníferas.  | 28        |
| 3.11.2      | Volumen de corteza para coníferas:   | 29        |
| 3.11.3      | Biomasa Coníferas:   | 30        |
| 3.11.4      | Carbono real:  | 30        |
| <b>3.12</b> | <b>MEDIDAS DE AJUSTE DE VOLUMEN</b>  | <b>30</b> |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| 3.12.1      | Factor de expansión de volumen (FEV):  | 30        |
| 3.12.2      | Factor de expansión de biomasa (FEB)   | 31        |
| 3.12.3      | Métodos de aproximación:   | 31        |
| <b>3.13</b> | <b>METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN</b>   | <b>35</b> |
| 3.13.1      | Modelo estadístico   | 35        |
| 3.13.2      | Evaluación de la zona por pendientes   | 35        |
| 3.13.3      | Evaluación de la zona por tratamientos   | 36        |
| 3.13.4      | Curvas de crecimiento y acumulación de biomasa de las especies                                 | 36        |
| 3.13.5      | Tasas de aprovechamiento de madera en la zona  | 36        |
| 3.13.6      | Cuantificación del potencial de fijación de C en la zona                                       | 36        |
| 3.13.7      | Cuantificación del potencial de fijación de C en la parcela de estudio.                        | 37        |
| <b>4</b>    | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>  | <b>38</b> |
| 4.1         | ¿VAN A TENER ÉXITO ESTOS PROYECTOS?  | 38        |
| 4.2         | ¿DE DÓNDE NACE ESTA INICIATIVA?  | 38        |
| 4.3         | EL MARCO LEGAL.  | 39        |
| 4.4         | LA OFICINA DE IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA DE HONDURAS (OICH).                                      | 40        |
| 4.5         | BUENA MERCADOTÉCNIA.   | 41        |
| 4.6         | UNA ESTANDARIZACIÓN DE TÉRMINOS Y PROCEDIMIENTOS.  | 41        |
| 4.7         | ¿POR QUÉ TOMAR EN CUENTA LOS BOSQUES PRIMARIOS?.   | 42        |
| 4.8         | EL PROCESO DE GENERACIÓN Y ELEGIBILIDAD DE PROYECTOS   | 43        |
| 4.9         | LOS CRITERIOS DE VERIFICACIÓN DE PROYECTOS.  | 44        |
| 4.10        | FORMATO PRELIMINAR DE CONTENIDO DEL DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO.                              | 45        |
| 4.11        | LAS FUGAS.   | 46        |
| 4.12        | ¿QUE TAN COSTOSO RESULTA EL PROCESO?.  | 46        |
| 4.13        | LA METODOLOGÍA PROPUESTA.  | 46        |
| 4.14        | LA BIOMASA DEL FUSTE SIN CORTEZA DE LA ZONA.   | 47        |
| 4.15        | LA BIOMASA DE LA CORTEZA DEL FUSTE EN LA ZONA.   | 50        |
| 4.16        | EL CAMBIO EN LA BIOMASA EN LA ZONA EN ESTUDIO.   | 51        |
| 4.17        | EL POTENCIAL DE FIJACIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE LA ESPECIE <i>PINUS OOCARPA</i> EN UYUCA. | 53        |
| 4.18        | EL POTENCIAL DE FIJACIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA FRANJA DE ESTUDIO.                     | 56        |
| 4.19        | LA CURVA DE CRECIMIENTO.   | 57        |
| <b>5</b>    | <b>CONCLUSIONES</b>  | <b>58</b> |

|          |                        |           |
|----------|------------------------|-----------|
| <b>6</b> | <b>RECOMENDACIONES</b> | <b>60</b> |
| <b>7</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>    | <b>61</b> |
| <b>8</b> | <b>ANEXOS</b>          | <b>63</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Cantidad mundial de carbono presente en la vegetación y en los reservorios de carbono hasta una profundidad de un metro.....                         | 17 |
| 2.  | Población de la República de Honduras.....   | 19 |
| 3.  | Estimación del área, biomasa y emisión potencial de carbono de acuerdo al uso de suelo en Honduras en 1996.....                                      | 19 |
| 4.  | Estimación de la pérdida de carbono y dióxido de carbono potencial emitido en Honduras por consumo de leña y deforestación en 1996.....              | 19 |
| 5.  | Distribución de la tierra de acuerdo a tipo de bosque en Honduras.....   | 20 |
| 6.  | Estimación de carbono potencial contenido en la biomasa de acuerdo al tipo de bosque en Honduras. (1996) .....                                       | 20 |
| 7.  | Marco legal forestal de Honduras. ....   | 22 |
| 8.  | Clases de manejo con sus respectiva superficie para el bosque del cerro Uyuca. Honduras.....   | 24 |
| 9.  | Clases de tratamiento para el bosque de producción del Cerro Uyuca. Honduras .....   | 24 |
| 10. | Estimación del volumen promedio del fuste sin corteza de <i>Pinus oocarpa</i> para parcelas establecidas en Uyuca.....                               | 47 |
| 11. | Estimación del volumen promedio del fuste sin corteza de <i>Pinus oocarpa</i> para parcelas naturales en Uyuca. ....                                 | 49 |
| 12. | Estimación del volumen promedio de la corteza en <i>Pinus oocarpa</i> para parcelas naturales y establecidas en Uyuca.....                           | 51 |
| 13. | Volumen extraído en parcelas establecidas en el cerro Uyuca.....   | 52 |
| 14. | Volumen extraído en parcelas naturales en el cerro Uyuca. ....   | 53 |
| 15. | Potencial de fijación y secuestro de C en <i>Pinus oocarpa</i> en el cerro Uyuca para parcelas establecidas.....                                     | 53 |
| 16. | Potencial de fijación y secuestro de C en <i>Pinus oocarpa</i> en el cerro Uyuca para parcelas naturales.....  | 55 |
| 17. | Potencial de fijación y secuestro de C en <i>Pinus oocarpa</i> en el cerro Uyuca en la clase de manejo <i>P. oocarpa</i> / <i>P. maximinoi</i> ..... | 56 |

**18.** Volumen con corteza de *Pinus oocarpa* en el cerro Uyuca para parcelas establecidas.....57

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Ciclo del carbono en el sistema forestal .....   | 7  |
| 2.  | Ciclo del carbono en el sistema forestal.....  | 12 |
| 3.  | Esquema seguido en el campo para la recopilación de información.....   | 24 |
| 4.  | Diseño de la parcela de muestreo para el levantamiento del inventario .....  | 27 |
| 5.  | Criterios de generación y elegibilidad de proyectos de Mitigación del Cambio Climático en Honduras (OICH, 2000). ..... | 43 |
| 6.  | Criterios de verificación de proyectos de mitigación del cambio climático en Honduras (OICH, 2000). .....              | 44 |
| 7.  | Formato preliminar del contenido del proyecto de mitigación del Cambio Climático .....                                 | 45 |
| 8.  | Curva de acumulación de biomasa en el fuste sin corteza de <i>Pinus oocarpa</i> para parcelas establecidas. ....       | 48 |
| 9.  | Curva de acumulación de biomasa en el fuste sin corteza de <i>Pinus oocarpa</i> para parcelas naturales. ....          | 50 |
| 10. | Curva potencial de fijación y secuestro de carbono en <i>Pinus oocarpa</i> parcelas establecidas de Uyuca. ....        | 54 |
| 11. | Curva potencial de fijación y secuestro de carbono en <i>Pinus oocarpa</i> en parcelas naturales de Uyuca. ....        | 55 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Anexo.

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | Lista de abreviaturas .....  | 63 |
| 2. | Cálculos de madera extraída y emisiones potenciales en parcelas del cerro Uyuca....                      | 64 |
| 3. | Cálculos de volumen de biomasa sobre el suelo en parcelas del cerro Uyuca.....                           | 65 |
| 4. | Datos de las parcelas de muestreo permanente de Uyuca .....  | 66 |
| 5. | Cálculos de la biomasa sobre el suelo en la clase de manejo <i>Pnus maximinoi/ Pinus oocarpa</i> . ..... | 73 |
| 6. | Mapa de la zona en estudio .....   | 74 |
| 7. | Mapa de las parcelas de muestro .....  | 75 |
| 8. | Regresión del modelo de Agudelo .....  | 76 |



## 1. INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático y sus consecuencias sociales, ambientales y económicas, a escala regional o nacional, han hecho que la comunidad internacional comience a idear mecanismos que permitan disminuir y aplacar este fenómeno y que sea parte de sus agendas en los últimos años (PNUMA, 1999).

Una de las consecuencias del Cambio Climático es el Calentamiento Global producido por el incremento en la concentración de los Gases del Efecto Invernadero (GEI), principalmente del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

De acuerdo al IPCC (2000), entre 1850 y 1998, aproximadamente 270 ( $\pm$  30) Giga toneladas (Gt) de carbono (C) han sido emitidas como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera como consecuencia de la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento siendo necesario establecer un área equivalente a 450 millones de hectáreas para que sea secuestrada ésta cantidad de emisiones. Aproximadamente 136 ( $\pm$  55) Gt C han sido emitidas como resultado del cambio en el uso de la tierra predominante en los sistemas forestales dando lugar a un aumento en la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de 176 ( $\pm$  10) Gt C. Las concentraciones atmosféricas se incrementaron de 285 a 366 ppm y cerca del 43% del total de emisiones en el tiempo están retenidas en la atmósfera. Se estima que el remanente, cerca de 230 ( $\pm$  60) Gt C, ha sido tomado en cantidades iguales por los ecosistemas terrestre y marítimo.

La humanidad está alterando la tasa de intercambio de carbono entre la biosfera terrestre y la atmósfera mediante actividades de industrialización, uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y manejo silvícola. Por consiguiente es importante examinar en qué medida varían los flujos de carbono entre los diferentes reservorios, se entiende por reservorio el lugar en dónde el carbono se encuentra almacenado, y en qué medida cambian los contingentes de carbono en respuesta a las actividades que tienen como objetivo mitigar el efecto, tal es el caso de la forestación y reforestación (IPCC; 2000).

En la naturaleza, el carbono en forma de CO<sub>2</sub> está continuamente circulando por los reservorios globales de carbono existentes en la atmósfera, los océanos, la biota marina, la biota terrestre, los suelos, los detritus y los sedimentos. Cuando los árboles u otro tipo de vegetación crecen, toman el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo almacenan en hojas, tallos, troncos y raíces, este proceso es denominado secuestro de carbono (World Bank, 2000).

La respiración de la vegetación, la descomposición de la materia orgánica en los suelos así como la combustión son procesos oxidativos que liberan CO<sub>2</sub> almacenado en la vegetación. Este proceso es referido como emisión (World Bank, 2000).

Los árboles cuando crecen actúan como sumideros de carbono. En el caso de los bosques tropicales maduros se asume estabilidad en términos de acumulación neta de carbono. A través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) descritos en el Protocolo de Kioto (1997), el secuestro de carbono se ha convertido en una alternativa para que los países en vías de desarrollo utilicen sus bosques como sumideros de carbono (Casas, 2000).

En unidades de carbono equivalente, definidas como unidades de CO<sub>2</sub> transformadas a unidades de carbono, Honduras presenta un alto potencial de secuestro, cerca de la

mitad del país está cubierto con vegetación forestal, representando más de cuatro billones de toneladas de carbono secuestradas (Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999)

A partir de la creación de la Oficina de Implementación Conjunta, Honduras comienza una serie de cambios que permitirán al país negociar Certificados de Carbono y así disminuir los GEI e incrementar los ingresos nacionales.

En América Central, Costa Rica es el país pionero en ésta rama, su capital humano diseñó modelos empíricos con fines de cuantificación los mismos que fueron utilizados para los primeros trabajos, así como para los primeros proyectos presentados en el área.<sup>1</sup>

En la actualidad existen metodologías generales que permiten cuantificar el carbono en diferentes sistemas, la metodología oficial es aquella aprobada por el “Intergubernamental Panel Climatic Change” (IPCC).

En Honduras no se han realizado trabajos de investigación en ésta área por lo tanto no se cuenta con una metodología adaptada a la región que permita cuantificar el carbono fijado y reducido dentro de un ecosistema forestal. Para tener una idea más realista del potencial de secuestro de carbono de los ecosistemas forestales se ha procedido a realizar el presente trabajo.

El objetivo principal es determinar la capacidad potencial de fijación y secuestro de carbono en la clase de manejo *Pinus oocarpa/ Pinus maximinoi* en el Cerro Uyuca (Honduras).

Los objetivos específicos para el presente documento son los siguientes:

- Investigar, recolectar y analizar información técnica, legal e institucional necesaria para el estudio.
- Adaptar una metodología que permita cuantificar la fijación y secuestro potencial de carbono en la clase de manejo anteriormente descrita.
- Determinar la capacidad de fijación potencial de emisiones del *Pinus oocarpa*.

---

<sup>1</sup> Venegas, A. 2000. Experiencia costarricense en proyectos de secuestro de carbono. San José, Costa Rica. *Com. Per.*

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 UNA BREVE HISTORIA**

En el año de 1863 el científico John Tyndall describe el efecto de ciertos gases en el deterioro de la capa de ozono.

En 1988 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente crea el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), organismo encargado de estudiar el Cambio Climático en el ámbito global (PNUMA, 1998).

Una vez conocido el problema los gobiernos celebraron varias cumbres alrededor del mundo buscando un tratado que tenga como objetivo solucionar el problema. En 1990, la Asamblea General de las Naciones Unidas respondió a esta preocupación mundial estableciendo el Comité Intergubernamental de Negociación para una Convención Marco sobre el Cambio Climático, la misma que se realizó en Río de Janeiro en 1992 y tuvo por nombre “Cumbre de la Tierra” (PNUMA, 1998).

Este Convenio fue firmado por 154 países y la Unión Europea y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Hacia mediados de 1998, unos 175 países habían ratificado o adherido a la convención (PNUMA, 1998).

La Conferencia de las Partes, máximo organismo de la Convención celebró su primer período de sesiones en Berlín en 1995 en donde se autoriza a todos los países signatarios a comenzar con la fase piloto de las actividades de Implementación Conjunta (IC), la segunda conferencia fue realizada en Ginebra en 1996 y la tercera en Kioto (Japón) en donde se firmó el Protocolo de Kioto. Posteriormente se realizaría la cuarta Convención en Buenos Aires en 1998 en donde se acordó elaborar un Plan de Acción Global de Cambio Climático para el año 2000, el cual incluirá las actividades de MDL (UNEP, 1999).

Dentro del Protocolo se establecieron mecanismos encaminados a reducir las emisiones, comercializar la reducción de emisiones, establecer los mecanismos de IC y los MDL, siendo los últimos aquellos en los que pueden participar los países en desarrollo (PAGS, 1999).

### **2.2 EL EFECTO INVERNADERO**

Debe existir un balance entre la energía recibida desde el sol y la energía emitida por la superficie terrestre. La Tierra está rodeada por una delgada capa de gases atmosféricos compuesta por nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono y otros gases en menores cantidad como el helio, neón, xenón y vapor de agua. Además contiene aerosoles en cantidades fluctuantes (Ordóñez, 2000).

En ausencia de cualquier atmósfera la temperatura de la Tierra sería de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Está es conocida como la temperatura efectiva de radiación terrestre, de hecho la temperatura superficial terrestre es de aproximadamente  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (PROINCO, 2000).

Al existir un desbalance en la concentración de estos gases, la atmósfera absorbe la radiación solar y re-emite la radiación de onda larga a la superficie terrestre. De esta manera al incrementar la cantidad de estos gases en la atmósfera se incrementa la cantidad de calor atrapado y con ello la temperatura de la superficial del planeta.

En forma natural la cantidad de los GEI no variarían drásticamente, sin embargo, el desarrollo de las actividades humanas ha provocado un desequilibrio incrementando las emisiones de dióxido carbónico (CO<sub>2</sub>), los clorofluoro carbonos (CFC) y otros gases de invernadero.

## **2.3 GASES DEL EFECTO INVERNADERO**

Los principales gases que, por la actividad humana, contribuyen con el efecto invernadero son el dióxido carbónico (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O), los flouro-cloro-carbonos (CFC) y el ozono troposférico (O<sub>3</sub>) (IPCC, 2000).

### **2.3.1 Dióxido carbónico.**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> representan el 50% de efecto invernadero derivado de las actividades humanas. Este gas proviene principalmente del consumo de combustibles fósiles, gas natural y quemas. Las emisiones por concepto de consumo de combustibles se estiman en 6000 millones de toneladas métricas anuales (Centeno, 2000).

La deforestación en América en 1990, como producto de las actividades humanas, se estima que produce emisiones de 30,000 toneladas métricas anuales, lo que representa un aporte de 8,000 millones de t C. La atmósfera contiene 750,000 millones de toneladas de carbono, intercambia anualmente aproximadamente 90,000 millones de toneladas con los océanos, y 100,000 millones adicionales con la biosfera terrestre (Centeno, 2000).

Se estima que la biota tiene la capacidad de absorber el 55% de las emisiones, acumulándose el resto (45% del total de emisiones) en la atmósfera. Este gas tiene una residencia atmosférica de 50 a 200 años (Centeno, 2000).

### **2.3.2 Metano**

En la naturaleza, el metano se produce en la descomposición de materia orgánica con poca presencia de oxígeno, en la quema de fósiles y en la digestión de rumiantes y otros animales. Aproximadamente el 50% de las emisiones de este gas provienen de cultivos de arroz y producción ganadera, un 15% proviene de tierras pantanosas húmedas, otro 15% proviene de la extracción de gas natural y un 5% proviene de rellenos de basura (Centeno, 2000).

La producción de metano se estima en 500 millones de toneladas métricas anuales, de las que 345 millones son producto de la actividad humana. Solo 45 millones de toneladas métricas anuales contribuyen al efecto invernadero, pero su efecto se magnifica pues cada molécula de CH<sub>4</sub> es 25 veces superior a la de CO<sub>2</sub>. Su tiempo de residencia en la atmósfera es de 7 a 10 años (Centeno, 2000).

### **2.3.3 Los Fluoro-Cloro-Carbonos.**

Son sustancias formadas por el flúor, cloro y carbono, sintéticas de larga vida, el CFC-11 es activo durante 65 años y el CFC-12 durante 110 años, cada molécula de los dos compuestos contribuye 3,500 y 7,500 veces más, respectivamente, al efecto invernadero que una molécula de CO<sub>2</sub> (Centeno, 2000).

Las moléculas de CFC capturan uno de los átomos de oxígeno del ozono, al hacerlo, los rayos ultravioletas pueden penetrar con mayor facilidad a la Tierra. Una mayor incidencia de rayos ultravioletas puede presentar problemas de cáncer en la piel, problemas oculares y disminución de algas y plancton en el mar (Centeno, 2000).

### **2.3.4 Los óxidos nitrosos.**

Representan el 6% del efecto invernadero. Cada molécula de N<sub>2</sub>O representa 200 veces el efecto de una molécula de CO<sub>2</sub>. Proviene de la combustión de las centrales eléctricas, de los fertilizantes nitrogenados, de los tubos de escape de los automóviles y de la combustión de materia orgánica por microbios. Tiene una residencia de 150 a 180 años en la atmósfera (Centeno, 2000).

Estas sustancias también son emitidas por las empresas siderúrgicas. Se estima que 25 millones de toneladas de nitrógeno y 70 millones de toneladas de azufre, se inyectan anualmente a la atmósfera como producto del consumo de combustibles fósiles (Centeno, 2000).

### **2.3.5 El ozono troposférico.**

El ozono en la baja atmósfera o troposfera se convierte en un gas con efecto invernadero, cada molécula produce 2000 más efecto que una de CO<sub>2</sub>. Se genera por la reacción con monóxido de carbono, óxidos nitrosos e hidrocarburos. Su tiempo de residencia en el trópico es de horas (Centeno, 2000).

## **2.4 EL CAMBIO CLIMÁTICO**

El Cambio Climático es definido por PNUMA (1999) como el cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas, el mismo que afecta la composición atmosférica y que se suma a la variabilidad y vulnerabilidad natural.

Este cambio se da por la acumulación de Gases del Efecto Invernadero (GEI) alterando la composición original de la atmósfera. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (UNEP, 1998) ha estimado que el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub>, con respecto al nivel preindustrial, dará como resultado un incremento en temperatura global de 1.5 a 3.5 °C provocando a su vez:

- Cambios en la distribución de la precipitación, con diferencias regionales significativas.

- Elevación en los niveles del mar de 0.2 a 0.6 metros, tanto por la expansión térmica como por el derretimiento parcial de glaciares en las montañas y de la capa de hielo en las regiones polares. Se estima un desprendimiento de 200 km. de masas de hielo
- Cambios en la humedad del suelo y el ambiente al aumentar la tasa de evapotranspiración.
- El incremento rápido de la temperatura haría muy difícil que los sistemas naturales pudieran adaptarse.

Estos cambios pueden traer efectos extremos como migraciones de comunidades a zonas costeras, cambios en el uso del suelo, temperaturas extremas que traerían consigo enfermedades como la malaria, cambios en zonas de dominancia de especies, con las consiguientes crisis de tipo social, económico y político.

## **2.5 EL CICLO DE CARBONO EN LA NATURALEZA**

En la naturaleza el carbono se halla en varios reservorios naturales, en el aire como dióxido de carbono, en el agua bajo la forma de carbonatos. Todos los organismos vivos están compuestos de carbono, el mismo que es adquirido al ingerir alimentos y es eliminado cuando mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo está constituido por este elemento (Ordóñez, 1999).

El ciclo de C comienza en la fotosíntesis, cuando las plantas toman el CO<sub>2</sub> y lo convierten en carbohidratos. Una parte, de los carbohidratos, es consumida por las mismas plantas como fuente de energía, liberando anhídrido carbónico por sus hojas y raíces. La otra parte restante es consumida por animales.

Las plantas y los animales mueren, pasando a formar parte de los detritus, y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el C se oxide en sus cuerpos y regrese a la atmósfera.

Cuando los organismos vegetales son comprimidos por deposición, no son atacados por bacterias, sino que sufren una serie de transformaciones químicas que dan como resultado la formación de turba, luego carbón pardo o lignita y finalmente carbón. Los cuerpos de algunos animales marinos pueden sufrir cambios similares para formar petróleo (Ordóñez, 1999). Estos fenómenos secuestran parte de carbono, el mismo que es liberado cuando es extraído y explotado por el hombre.

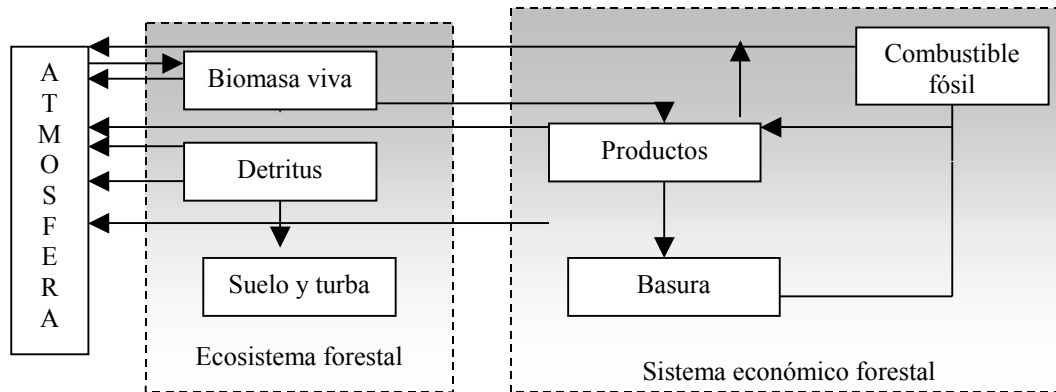
En el suelo el carbón se encuentra como carbonatos, piedra caliza y mármol. Las piedras sufren procesos de meteorización y van liberando poco a poco el carbono a la atmósfera (Ordóñez, 1999).

## **2.6 EL CICLO DE CARBONO EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.**

En los ecosistemas forestales se encuentran tres “pools” de carbono: biomasa viva, detritus y suelos. El intercambio de carbono entre los reservorios y la atmósfera y entre los reservorios son la base del ciclo de C en éstos ecosistemas (World Bank, 2000).

El C es tomado como CO<sub>2</sub> de la atmósfera para ser fijado, a través de los procesos de fotosíntesis, en la biomasa viva. Ésta acumula más carbono a medida que sigue creciendo. Parte de esta materia cae al suelo para formar parte de los detritus o materia orgánica en

descomposición. Las tasas de descomposición de la materia orgánica son variables, dependiendo de la composición de la materia, humedad del suelo, humedad del ambiente y la acción de los microorganismos. Al descomponerse la materia orgánica libera  $\text{CO}_2$  a la atmósfera (World Bank, 2000).



**Figura 1.** Ciclo del carbono en el sistema forestal.

Fuente: Apps and Price citado por Vine et al (1999)

Parte del  $\text{CO}_2$  permanecerá almacenado en productos de la biomasa, los cuales podrán ser transformados, principalmente, en muebles de duración variable dependiendo del tratamiento al que sea sometido. Otra parte de la biomasa será utilizada como generador de energía, liberando  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Almacenamiento de carbono se considera el período de tiempo durante el cual el  $\text{CO}_2$  forma parte de alguna estructura de la biomasa y no es devuelto al suelo o a la atmósfera (World Bank, 2000). El ciclo de carbono en el sistema forestal puede ser observado en la Fig. 1.

## 2.7 SERVICIOS AMBIENTALES QUE BRINDAN LOS BOSQUES.

Los Servicios Ambientales son fuentes de financiamiento para el sector privado. Este servicio se fundamenta en el principio que los propietarios de bosques y plantaciones forestales reciban pagos para compensar los beneficios que estas plantaciones brindan a la sociedad (FONAFIFO, 1999).

Según FONAFIFO (1999), los servicios ambientales son definidos por la ley Costarricense como los que brindan los bosques y plantaciones en la protección y mejoramiento del medio ambiente, siendo los siguientes:

- *Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero* (reducción, absorción, fijación y almacenamiento de carbono). En especial del carbono acumulado en la atmósfera, evitando la acumulación excesiva de ese elemento y conduciéndolo a reducir el efecto invernadero.
- *Protección de agua para el uso urbano rural o hidroeléctrico.* La conservación de los bosques tiene un alto impacto sobre la regularidad del ciclo hidrológico y la reducción de los sedimentos en los embalses. La existencia de instituciones que suministran servicios de agua potable y electricidad, aumenta la capacidad de trasladar el pago de las medidas de conservación a los usuarios mediante su incorporación en las respectivas tarifas.

- *Protección de la biodiversidad para conservarla y uso sostenible científico y farmacéutico, investigación y mejoramiento genético, protección de ecosistemas y formas de vida.* La biodiversidad trae consigo beneficios científicos, así como fuente de conocimientos e información genética.
- *Belleza escénica natural para fines turísticos y científicos.* Por las características de este servicio, el cobro y el pago debe quedar abierto a la gestión de entes públicos y privados.

En cuanto a los beneficiarios de dichos servicios se pueden agrupar en: el propietario del bosque, los habitantes del país y la sociedad mundial. El esquema debe permitir un flujo financiero entre los beneficiarios sean estos mundiales, nacionales o locales y los propietarios de los recursos, de manera que a éstos se les compense por mantenerlos y desarrollarlos y de esta forma hacer un esquema autosuficiente desde el punto de vista financiero.<sup>2</sup>

Actualmente se está reconociendo el precio de mercado de los servicios y es un sistema coherente con el marco establecido por el Programa de Ajuste Estructural del Fondo Monetario Internacional, que en 1995 decidió eliminar la totalidad de las subvenciones públicas incluidas en ellas las relacionadas al ámbito forestal (FONAFIFO, 1999). Así como, está acorde con la Declaración de Río sobre el Ambiente y Desarrollo que establece la obligación de las autoridades nacionales de fomentar la internalización de los costos ambientales y de adoptar en principio de quien contamina debe cargar con los costos de la contaminación. Además, la Declaración obliga a analizar el bosque tomando en cuenta todos los servicios que ofrece (UNEP, 1999).

## 2.8 EL PROTOCOLO DE KIOTO

El objetivo a largo plazo de la Convención sobre el Cambio Climático estaba definido como impedir las “interferencias antropogénicas” peligrosas en el sistema climático. Luego de varias rondas de conferencias, más de 10,000 delegados de los diferentes países reunidos en Kioto en 1997 aprobaron el Protocolo en virtud del cual los países industrializados se comprometen a reducir para el período 2008-2012 el total de sus emisiones de Gases del Efecto Invernadero (GEI) por lo menos en un 5% en relación con los niveles de 1990 (PNUMA, 1999).

El Protocolo se abrió a la firma en 16 de marzo de 1998 y entraría en vigor 90 días después de que lo hayan ratificado 55 partes por lo menos (PNUMA, 1999).

El Protocolo de Kioto propone una serie de cambios estructurales que promuevan el desarrollo sostenido a través de la elaboración de políticas que, entre otras cosas, fomenten la eficiencia estratégica, protejan y mejoren los sumideros y depósitos de los GEI, proporcionen modalidades sostenibles, investiguen, promuevan y desarrollen formas nuevas y renovables de energía y que reduzcan progresivamente o eliminen gradualmente los incentivos fiscales y toda clase de exención tributaria (PNUMA, 1999).

Por otra parte plantea la posibilidad para que las Partes negocien la aplicación de políticas y medidas, conjuntamente, a favor del objetivo de la Convención y posteriormente a través de las decisiones o instrumentos conexos adoptados por las futuras Conferencias de las Partes (COP's) (Espinoza, *et al*, 1999).

Éstas políticas y medidas deberían estar enmarcadas dentro de los contextos socioeconómico y político del país, además de ser integrales, aplicables y ejecutables a través del tiempo (CEDSAL, 1996).

---

<sup>2</sup> Venegas, A. 2000. Pago por Servicios Ambientales. San José, Costa Rica. *Com. Per.*



El Protocolo abre la posibilidad de negociar las unidades de reducción de emisiones entre las Partes del Anexo I, siendo la adquisición de dichas unidades suplementaria a las medidas nacionales adoptadas para cumplir los compromisos adquiridos (CEDSAL, 1996).

Al tener un marco legal y político establecido se podrá formular proyectos nacionales o regionales para mejorar la calidad de los factores de emisión, datos de actividades y/o modelos locales que sean eficientes en relación con el costo y que reflejen las condiciones socioeconómicas de cada Parte para la realización y la actualización periódica de los inventarios nacionales, dichos programas guardarán relación con los sectores de: energía, transporte, industria, así como agricultura, silvicultura y la gestión de los desechos (PNUMA, 1999).

En la Primera COP se decidió establecer una fase piloto de Actividades de Implementación Conjunta (AIC) entre las partes del Anexo I y las Partes no incluidas en dicho anexo, estas actividades no serviría para tener créditos. A octubre de 1997 se reportaron 39 proyectos de AIC en países con economías de transición en América Latina y el Caribe y Africa (Espinoza, *et all*, 1999).

Al ver esta como una alternativa viable y rentable la primera COP autoriza la aplicación, hasta el año 2000, de éstas actividades. Para hacerlo, las Partes deberán contribuir con recursos financieros nuevos y adicionales en cuanto a su contribución a la transferencia de tecnología y conocimientos prácticos ambientalmente sanos y al desarrollo y mejoramiento de las capacidades y tecnologías endógenas de las Partes que son países en desarrollo (Espinoza, *et all*, 1999).

Las AIC son enmarcadas en los MDL.

## **2.9 LOS MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO (MDL).**

Los MDL fueron diseñados tomando en cuenta varias opiniones e intereses de países, ONG y del sector privado. Los MDL dan la oportunidad, a los países industrializados, de cumplir los compromisos de reducción de emisiones en tanto que los países en desarrollo lo ven como un instrumento para la transferencia de tecnologías y financiamiento para impulsar su desarrollo sustentable (Beaumont, 1999).

En la actualidad existen cuestiones políticas y técnicas no reglamentadas, como es el caso de la inclusión de los sumideros de carbono en los MDL, la sustentabilidad de los proyectos, la equidad de los mecanismos, los costos de transacción, la línea base, la adicionalidad, los mecanismos de monitoreo, evaluación, verificación y certificación para los proyectos, las externalidades e incertidumbres y las entidades operaciones (IPCC, 2000).

En junio del 2000 se realizó una reunión en Canadá con el propósito de reglamentar las cuestiones políticas, técnicas y legales. Hasta el momento se sigue discutiendo dicha reglamentación pues aún existen discrepancias en lo referente a contabilización y conceptualización de actividad, regeneración y cosechas en los diferentes estratos de la biomasa así como en el suelo (IPCC, 2000).

Para crear un contexto general, se definió el concepto de forestación, reforestación y deforestación en los bosques, pues estos criterios no podían ser cuantificados. Se utilizaba deforestación para la eliminación del área boscosa pero no definía que cantidad de la cubierta era eliminada.

Deben, además, ser ideados mecanismos que permitan identificar y delimitar las actividades humanas de los fenómenos naturales, así como decidir si se contabilizarán dichos fenómenos en la ecuación de carbono de los ecosistemas forestales. El primer paso debe consistir en la definición de actividad, la misma que se basa en las prácticas individuales, como la reducción de la labranza o la gestión de agua de riego. Esta definición al ser restringida podría permitir una contabilización práctica y real (IPCC, 2000)

Se plantean dos formas de contabilización: a) tomando como punto de partida el carbono total almacenado en los reservorios de carbono válidos (priorizados por contenido de carbono y cambios que presente), siendo necesaria la identificación de actividades válidas, para luego identificar las unidades de tierra en las que se dan esas actividades, b) tomando como punto de partida la variación del carbono almacenado en los reservorios válidos y/o de las emisiones o eliminaciones de GEI como consecuencia de las actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura designadas (UTCUTS). Una vez definidas las actividades podrá ser evaluado el impacto de las mismas sobre el carbono almacenado (IPCC, 2000).

El problema que presenta la segunda forma radica en que un área dada de tierra podría contabilizarse más de una vez, si en ella se realizan múltiples actividades, alternativamente las Partes podrían decidir que en cada unidad de terreno no puede tener lugar más de una actividad, reduciendo el potencial de secuestro del área.

Se ha tomado el año 1990 como el año base, sólo las extensiones recolectadas o regeneradas a partir de este año serán consideradas tierras en virtud de las variaciones netas de emisiones de acuerdo al Protocolo de Kioto (IPCC, 2000).

Por otro lado aún se sigue buscando métodos que permitan cuantificar la fijación y secuestro de carbono de una forma real puesto que en los ecosistemas forestales existe gran variabilidad y riesgo de plagas, incendios, desastres naturales, impacto de comunidades, así como los efectos indirectos de las actividades humanas como la fertilización.

El riesgo presente en los ecosistemas representa incertidumbre en mediciones y en la definición de valores y escenarios de referencia. Se entiende como escenario de referencia al (los) ecosistema(s) o valores que sirven de patrón de comparación para cada tipo de proyecto (IPCC, 2000).

Otro punto que se está tratando, y que se ha definido como el de mayor controversia, es el tema de las fugas, entendiéndose fuga como la variación en las emisiones y eliminaciones de GEI externas al sistema de contabilización que son resultantes de actividades que producen cambios internos en los límites de dicho sistema. En la actualidad se está considerando cuatro tipos de fugas: desplazamiento de las actividades, desplazamiento de la demanda, desplazamiento de la oferta y acumulación de inversiones (IPCC, 2000).

Este tema debe ser tomado en cuenta, pues si existen fugas la contabilización no arrojará una evaluación exacta de los cambios totalizados por la actividad.

Al definir un marco conceptual, legal, político y técnico se busca tener:<sup>3</sup>

- Sustentabilidad en los proyectos, es decir que el proyecto demuestre haber contribuido con el desarrollo sustentable del país o región, que este desarrollo pueda ser medido a través de indicadores claves como: tecnología introducidas, impacto social y económico así como a través de impactos ambientales y biodiversidad.

---

<sup>3</sup> Alpízar W. 2000. La Oficina de Implementación Conjunta y los proyectos forestales. San José. *Com Per*.

- Equidad del mecanismo, es decir que no debería excluir regiones por falta de infraestructura u otros atractivos, así como debería incorporar el concepto de emisiones futuras evitadas como uno de los elementos para los proyectos de reducción de emisiones.
- Los costos de transacción deberían reducirse al mínimo, por otro lado la proporción de los beneficios destinados a gastos administrativos debería ser calculados sobre la base de la reducción de emisiones lograda y no a partir de los beneficios de las actividades económicas.
- Las metodologías utilizadas para determinar la línea base y la adicionalidad deberían presentar más exactitud en su determinación.

El Protocolo de Kioto contiene disposiciones redactadas con objeto de que las Partes vinculadas al Anexo I tengan en cuenta las actividades de reforestación, forestación y deforestación, así como otras actividades acordadas en el UTCUTS para el cumplimiento de sus compromisos en el marco de las variaciones netas de las emisiones de CO<sup>2</sup> (IPCC, 2000).

## **2.10 TIPOS DE PROYECTOS PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

Según el World Bank (2000), los proyectos más importante se agrupan en dos categorías: los de energía renovable y los de uso de la tierra.

*Los proyectos de energía renovable* están dirigidos a la eficiencia y ahorro energético, así como la reducción de emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles en al generación eléctrica.

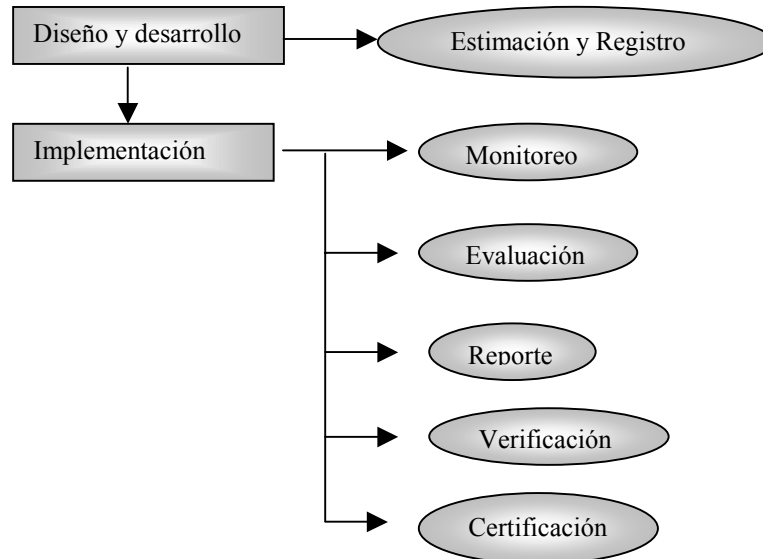
*Los proyectos de uso de la tierra* están dirigidos a preservar, principalmente, los sistemas forestales. El principal objetivo del manejo es conservar el carbono existente en los reservorios forestales a través del control de la deforestación, protección de los bosques, modificación del manejo forestal, prácticas silvícolas, uso eficiente de madera, control de incendios y control de disturbios antropogénicos.

La meta del secuestro y almacenamiento de carbono es expandir el almacenamiento del mismo en ecosistemas forestales incrementando el área o la densidad del carbono de bosques naturales. Incluye:

- *Aforestación*: Sembrar árboles en áreas donde no han sido plantados recientemente.
- *Reforestación*: Sembrar árboles en áreas en áreas donde han estado sembrados recientemente, pero que están ausentes actualmente.
- *Forestería urbana*: Siembra de árboles en zonas urbanas o suburbanas
- *Agroforestería*: Sembrar y manejar árboles en conjunto con cultivos agrícolas
- *Regeneración natural*
- *Enriquecimiento de la biomasa*
- *Manejo de los productos del Bosque*

## 2.11 PASOS QUE DEBEN SEGUIR LOS PROYECTOS FORESTALES DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

Los proyectos forestales de mitigación del cambio climático deben seguir los siguientes lineamientos:



**Figura 2.** Ciclo del carbono en el sistema forestal.

Fuente: *Vine et all* (1999)

Para poder determinar el impacto sobre los GEI de proyectos MDL e IC se necesita monitorear, evaluar, reportar, verificar y certificar. Los pasos anteriormente mencionados son utilizados para medir o cuantificar la cantidad de carbono emitido o reducido a partir de la implementación del proyecto (*Vine et all*, 1999).

Según *Vine et all* (1999), los ecosistemas forestales pueden ser divididos en tres compartimentos principales de medición:

- *Biomasa viva:* Esta puede ser:
  - *Biomasa maderable sobre el suelo:* es definida como la densidad de la biomasa que está sobre el suelo (fuste, hojas, ramas), expresada en peso seco por unidad de área. Aproximadamente el 50% de la madera por peso es carbono, 6% hidrógeno y 44% oxígeno.
  - *Biomasa en el suelo:* son estimaciones del volumen de biomasa en el suelo (hojas, ramas).
  - *Biomasa bajo el suelo:* se define como la biomasa que está formando las raíces. Se estima que alrededor de un tercio de la masa total del árbol se encuentra bajo el suelo.
- *Detritus:* materia orgánica que cayó en el suelo y que está en proceso de descomposición
- *Suelos:* materia orgánica del suelo y carbonatos

A continuación se describen las etapas a seguir en un proyecto forestal de mitigación del cambio climático.

### 2.11.1 Línea base.

Para los proyectos de IC y MDL, la reducción de emisiones para cada proyecto debería ser adicional. La línea base es el cálculo de la realidad de los reservorios de carbono en el área del proyecto si éste no hubiese sido implementado (*Vine et all, 1999*).

La estimación debe ser bien hecha, existe el peligro de un sobrestimado y poco realístico establecimiento de la línea base.

Una vez implementado el proyecto se darán cambios que van a afectar los reservorios de carbono, siendo los niveles diferentes del pasado. Dichos cambios hacen que la línea base deba ser reestimada en las fases de monitoreo y evaluación.

La línea base puede ser calculada como una mediana línea base de acuerdo a la realidad del área del proyecto o puede calcularse un set de líneas bases con diferentes supuestos, con sus respectivas probabilidades de ocurrencia (World Bank, 2000).

### 2.11.2 Monitoreo y evaluación

Consiste en evaluar los cambios brutos en el almacén de carbono a través de métodos como: modelaje, sensores remotos y mediciones en el campo. Éstos datos servirán para calcular el cambio neto del almacén de carbono que es igual al cambio bruto menos la línea base reestimada.

Según *Vine et all (1999)*, para tener precisión en los datos de las mediciones, los resultados deben ser analizados de dos maneras:

- *Cuantitativamente*: Especificando la desviación estándar alrededor de la media para una distribución normal o predeterminando intervalos de confianza alrededor de las estimaciones de la media.
- *Cualitativamente*: indicando el grado general de precisión de las mediciones hechas en el campo (alta, media o baja).

De acuerdo con *Vine et all (1999)*, además de los datos recolectados en el campo, la etapa de evaluación debe desarrollar y contemplar lo siguiente:

- *Plan de contingencia*: identificando incertidumbres potenciales e identificando medidas de manejo que aplaquen su efecto.
- *Identificar y discutir incertidumbres claves*: que estén afectando las estimaciones de todas las emisiones.
- *Contemplar políticas locales y regionales*: considerando la inestabilidad económica que puede afectar el desarrollo del proyecto.
- *Proveer intervalos de confianza*: alrededor de la media.

### 2.11.3 Frecuencia y duración:

El monitoreo en el cambio neto de carbono debe hacerse con mayor frecuencia en compartimentos que atraviesan por cambios más rápidos, por ejemplo, la biomasa arriba del suelo dependiendo de la especie y la calidad del suelo. Tienen menor frecuencia en los primeros años del proyecto debido a que los cambios existentes no son significativos (Brown, 1997).

El monitoreo del suelo no es necesario hacerlo cada año ya que los cambios presentados no son drásticos de un año a otro en áreas que no están siendo perturbadas, por otro lado los análisis de laboratorio son costosos.<sup>4</sup>

El monitoreo del suelo puede llevarse a cabo cada cinco años, sin embargo se puede observar cambios en la cantidad de materia orgánica en períodos de dos a tres años (Word Bank, 2000).

En el caso de plantaciones o bosques que producen madera es necesario tener un plan de manejo y registros de campo que determinen la cantidad de madera extraída, así como también los disturbios que pueden haber por la población que afectan la cantidad de biomasa presente.

### 2.11.4 Mediciones de cambios brutos en el almacenaje de carbono:

Uno de los puntos clave y de mayor importancia es determinar cual de las fuentes de carbono es significativa, lo cual se define por tamaño, vulnerabilidad y dirección de cambio.

Si es necesario, las mediciones deben ser hechas en todos los componentes del sistema, calculando las emisiones positivas y negativas.

Existen varios métodos de monitoreo entre los que se pueden mencionar: sensores remotos, mediciones de campo, sitios de muestreo permanente, inventarios y técnicas alométricas. La utilización de uno u otro dependerá de las condiciones de campo, el área total y el grado de exactitud requerida (*Vine et all, 1999*).

Los modelos para estimar el carbono almacenado deben ser para un tipo de bosque específico y para un sitio específico. Los modelos deben ser corregidos o calibrados de acuerdo a datos tomados periódicamente así como también haciendo comparaciones con otras aproximaciones. La precisión de los métodos dependerá de las ecuaciones y de la homogeneidad del bosque (*Vine et all, 1999*).

### 2.11.5 Muestreo:

Para áreas grandes y heterogéneas lo más apropiado es utilizar un muestreo de etapas múltiples donde cada etapa se divide en parcelas múltiples (Erickson, 1999).

El tipo y la intensidad de muestreo dependerá de las variaciones que existan en cada etapa. Estudios de muestreo de biomasa indican que se deben hacer estimaciones de peso o volumen con 90 a 95% de confianza (*Vine et all, 1999*).

Un grado de precisión universalmente aceptado para estimaciones de beneficio de carbono no existe actualmente. Expertos sugieren que un punto razonable de precisión para un proyecto

---

<sup>4</sup> Erickson, N. Estimación del carbono contenido en el suelo. Zamorano, Honduras. *Com. Per.*

debe tener un error estándar del 20 al 40% (*Vine et all* , 1999). El tamaño de los sitios de muestreo permanente va a depender de la heterogeneidad del terreno.

Existen 3 tipos de muestreo que pueden ser usados: muestreo simple aleatorio, muestreo sistemático y muestreo aleatorio estratificado. Para inventarios de carbono por lo general se prefiere usar el muestreo aleatorio estratificado debido a que este rinde estimaciones más precisas por menor costo (*Vine et all* , 1999).

Las herramientas para definir los estratos incluyen imágenes satelitales, fotografías aéreas y mapas de vegetación suelo o topografía. Éstas deben ser combinadas con mediciones de campo para verificar las imágenes de sensores remotos (*Vine et all* , 1999).

Un sistema de información geográfica puede ser usado para determinar el tamaño del estrato, de las exclusiones y de zonas buffer (*Vine et all*, 1999).

#### **2.11.6 Reporte:**

Se refiere a la medida de los GEI y los beneficios y costos del proyecto. Para cumplir esta etapa es necesario llenar un formato uniforme de reporte suministrado por la Convención Marco del Cambio Climático, en complemento el proyecto debe estimar la línea base y el escenario en el cual se va a desarrollar el mismo.

El formato contiene una sección de beneficios (ambientales y socioeconómicos) que necesita información cuantitativa, aunque se acepta información cualitativa cuando la primera no es accesible (*Vine et all*, 1999).

Los encargados del proyecto deberán describir cómo su proyecto es compatible con las estrategias de desarrollo económico, socioeconómico y ambiental del país en el que se encuentra el proyecto.

Las formas presentadas contienen descripción del proyecto, medidas estimadas en el almacén de carbono, la línea base, cambios netos en el almacén de carbono, re-estimación de la línea base, métodos de recolección de información, métodos de análisis, cómo se estimaron las fugas del proyecto, las transformaciones de mercado, los incrementos y decrementos, los impactos socioeconómicos y ambientales y su consistencia con las leyes del país, así como los impactos en el desarrollo del área y país (IPCC, 1999).

Los reportes confirman que los datos son correctos y que el proyecto está siendo realizado con el fin de evitar discrepancia entre las Partes.

#### **2.11.7 Verificación:**

Se puede definir como un proceso de auditoría que tiene como objetivo verificar la cantidad de carbono reducido o fijado por el proyecto. Esta etapa debe ser realizada por una parte neutral.

Para este fin, el verificador controla la información que está en el formato de verificación, una forma parecida a la del reporte de monitoreo y evaluación. El documento de verificación es distribuido a los participantes del proyecto, al país que invierte, a la secretaría de la Convención Marco del Cambio Climático y al Comité Ejecutivo de los MDL (Berni, 1999).

El proyecto será evaluado con material adicional, de ser necesario, se harán visitas de campo para inspeccionar las condiciones post-proyecto. Se pretende evaluar: si los métodos de monitoreo y evaluación reportados han sido utilizados, si los resultados son razonables y guardan relación con los reportados (Berni, 1999).

Según *Vine et all* (1999), la verificación puede ser realizada una vez que el proyecto entra en marcha, controlando cualquier operación. Las verificaciones pueden ser realizadas periódicamente (anual) durante la vida del proyecto.

Las revisiones periódicas incluyen:

- Revisión de los procedimientos utilizados por el operador del proyecto.
- Auditoría de las medidas físicas relevantes así como los datos colectados y las medidas estadísticas utilizadas de acuerdo al plan de monitoreo y evaluación. Este análisis se hace dentro y fuera de los límites del proyecto.
- Chequear si los cálculos de las estimaciones de carbono están correctamente hechos.
- Hacer un análisis de desvíos de la cantidad de carbono secuestrado.
- Verificar si los impactos ambientales y socioeconómicos han sido identificados y cuantificados.
- Alertar a los participantes del proyecto al incrementar riesgos.

#### **2.11.8 Certificación:**

Significa certificar que la reducción de emisiones medidas ocurrieron en la realidad. Este proceso es realizado por compañías internacionales que poseen prestigio y han sido aprobadas por la Convención Marco del Cambio Climático para realizar esta actividad (*Vine et all*, 1999).

Por el momento las compañías aceptadas son Societé Générale de Surveillance S.A (SGS), Rainforest Alliance, and Soil Association are Certification, compañías acreditadas por el Forest Stewardship Council.

Los costos de este proceso son altos y no todos los proyectos son capaces de absorberlos de ahí la necesidad de manejar una economía de escala para los mismos.<sup>5</sup>

#### **2.12 LA IMPORTANCIA DE LA CUANTIFICACIÓN DE CARBONO EN EL SUELO.**

La acumulación del carbono en el suelo está en función de la densidad, tasas de deposición, descomposición y translocación (*Vine et all*, 1999).

En el suelo, el contenido de carbono total puede ser calculado usando el método de: a) ignición (consiste en someter al suelo a temperaturas altas por 24 horas), b) termoconductividad (separa el nitrógeno del carbono), c) Walkley-Black (consiste en la oxidación de la materia orgánica por medio de ácidos fuertes) (*Vine et all*, 1999)

---

<sup>5</sup> Alpízar, W. Costos de los proyectos de secuestro de carbono. San José, Costa Rica. *Com. Per.*



En los últimos tres años se han realizado varios estudios sobre la cantidad de carbono fijada en el suelo demostrándose la importancia de su cuantificación. Como se puede observar en el siguiente cuadro el suelo en ecosistemas forestales fija más carbono que la biomasa.

**Cuadro 1.** Cantidad mundial de carbono presente en la vegetación y en los reservorios de carbono hasta una profundidad de un metro.

| Biomasa                   | Área<br>(109 ha) | Carbono mundial almacenado (Gt C) |       |       |
|---------------------------|------------------|-----------------------------------|-------|-------|
|                           |                  | Vegetación                        | Suelo | Total |
| Bosques tropicales        | 1,76             | 212                               | 216   | 428   |
| Bosques templados         | 1,04             | 59                                | 100   | 159   |
| Bosques boreales          | 1,37             | 88                                | 471   | 559   |
| Sabanas tropicales        | 2,25             | 66                                | 264   | 330   |
| Herbazales templados      | 1,25             | 9                                 | 295   | 304   |
| Desiertos y semidesiertos | 4,55             | 8                                 | 191   | 199   |
| Tundra                    | 0,95             | 6                                 | 121   | 127   |
| Humedales                 | 0,35             | 15                                | 225   | 240   |
| Tierras de cultivo        | 1,60             | 3                                 | 128   | 131   |
| Total mundial             | 15,12            | 466                               | 2011  | 2477  |

Fuente: IPCC, 2000

Aunque el cuadro uno presenta una incertidumbre en las cifras mencionadas anteriormente, al no definir que toma como biomasa, las cifras dan una panorámica de la importancia de la cuantificación de carbono en el suelo, así como la cantidad que los diferentes sistemas pueden captar.

Se denota, además, en el cuadro uno la ventaja comparativa que poseen los bosques tropicales y boreales para fijar carbono en comparación con el resto de sistemas forestales, de ahí la importancia de utilizar este recurso en latitudes medias y altas.

## 2.13 INFORMACIÓN PARA POSIBLES INVERSIONISTAS EN HONDURAS.

### 2.13.1 Política y economía

La economía hondureña depende del sector agrícola de exportación, empleando el 43% de la población económicamente activa. En el sector industrial, las maquilas son el sector más activo, empleando más de 100,000 trabajadores en los últimos 10 años (Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999).

Las instituciones económicas y los incentivos del país han entrado en un proceso de reforma y ajuste estructural reaccionando a las dificultades económicas presentadas en los 80's y a inicios de los 90's, lo que abrió las puertas para la exportación de productos no tradicionales. Este programa ha traído como resultado una baja en la inflación del 24% en 1995 al 16% en 1998 y una tasa de crecimiento económico del 4% (Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999).

En los 80's, la madera fue el tercer producto de exportación. Sin embargo, la industria de la madera enfrentó una serie de problemas de financiamiento. Más del 30% del área forestal del

país se perdió después de 1970, a un ritmo de 88000 hectáreas por año (Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999).

### **2.13.2 Estabilidad política:**

Carlos Flores es el quinto presidente democráticamente electo en dos décadas. La milicia ahora está bajo la autoridad civil y recientemente ha sido reorganizada en la policía y el ministerio de defensa. (Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999).

### **2.13.3 Crecimiento económico**

Los índices macro económicos de Honduras para el año 1998 son los siguientes:

- El índice de crecimiento de las exportaciones fue del 10% en 1998.
- La inflación fue del orden del 16% en 1998.
- El índice de crecimiento Producto Nacional Bruto fue de 3.9% en 1998.
- La inversión privada/Producto Nacional Bruto fue del 15% en 1998 (Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999).

### **2.13.4 La moneda**

El lempira está a una tasa de cambio de 14.95 por dólar (de septiembre del 2000), durante los últimos dos años se ha mantenido relativamente estable<sup>6</sup>.

### **2.13.5 Políticas para la inversión externa e incentivos.**

Los incentivos para la promoción de la exportación incluyen leyes y regulaciones, estas son:

- Ley de importación temporal (usado por maquilas, y exportadores de productos)
- Zonas de procesamiento industrial (usadas por maquilas)
- Procedimientos de re-exportación (usadas por maquilas)
- Ley de perfección de activos (usadas por maquilas)
- Sistema generalizado de referencias (usado por exportadores de café, azucareros, comerciantes, mineros y fruticultores) .
- En 1992, la ley de inversiones estipuló incentivos de capital para las inversiones.

Tomado de Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999.

### **2.13.6 Nuevas leyes que afectan a las inversiones en Mecanismos de Desarrollo Limpio.**

En años recientes, el congreso de Honduras aprobó dos leyes relacionadas al sector forestal y energético: la ley de incentivos forestales para la forestación y reforestación y la ley de incentivos para energía renovable. Adicionalmente, en noviembre de 1997, con decreto ejecutivo se creó la Oficina de Implementación Conjunta.

---

<sup>6</sup> BANCAHSA (2000).

Actualmente se encuentra en reforma la Ley Forestal (Central American Background Information for Carbon Offset Investors, 1999).

### 2.13.7 Población en miles de personas

El incremento de la población ejerce presión sobre los recursos naturales, en el cuadro 2 se puede observar el incremento de la población en Honduras y la distribución en la zona urbana y rural.

**Cuadro 2.** Población de la República de Honduras.

|                        | 1980      | 1985      | 1990      | 1995      | 1998      | 2000      |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Población total</b> | 3,431,300 | 4,040,500 | 4,757,800 | 5,602,500 | 6,179,700 | 6,597,100 |
| <b>Urbana</b>          | 1,194,600 | 1,523,000 | 1,930,300 | 2,434,300 | 2,791,900 | 3,056,400 |
| <b>Rural</b>           | 2,236,700 | 2,517,500 | 2,827,500 | 3,168,200 | 3,387,800 | 3,540,700 |

Fuente: Pratt (2000)

### 2.13.8 Tasa de deforestación y consumo de leña en carbono potencial y dióxido de carbono potencial.

En 1996, la tasa de deforestación fue de 108000 ha por año eliminándose bosque latifoliado, de mangle y de pino. En el cuadro 3 se puede observar el área eliminada en 1996 y la cantidad de emisiones producidas.

**Cuadro 3.** Estimación del área, biomasa y emisión potencial de carbono de acuerdo al uso de suelo en Honduras en 1996.

| Uso del suelo      | Área (ha) | Biomasa (tm/ha) | Toneladas deC |
|--------------------|-----------|-----------------|---------------|
| <b>Latifoliado</b> | 1,311,300 | 10              | 6,556,500     |
| <b>Mangle</b>      | 543,500   |                 |               |
| <b>Pino</b>        | 97,400    | 10              | 487,000       |

Fuente: Pratt (2000)

Aún en las zonas rurales la leña es utilizada como combustible, en el cuadro 4 se presenta la cantidad de emisiones producidas por el consumo de leña en Honduras en 1996.

**Cuadro 4.** Estimación de la pérdida de carbono y dióxido de carbono potencial emitido en Honduras por consumo de leña y deforestación en 1996.

| Actividad              | Toneladas de CO <sub>2</sub> | toneladas de CO <sub>2</sub> |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Consumo de leña</b> | 1,532,686                    | 5,619,849                    |
| <b>Deforestación</b>   | 16,218,000                   | 59,466,000                   |
| <b>TOTAL</b>           | <b>17,750,686</b>            | <b>65,085,849</b>            |

Fuente: Pratt (2000)

### 2.13.9 Tenencia de la tierra de acuerdo al tipo de bosque en Honduras (1996)

Se puede apreciar que, en el cuadro 5, no existe una buena distribución de tierras en el país, la mayor parte de los bosques del país están bajo el dominio del estado, mientras que los municipios y el sector privado tienen una participación mínima.

**Cuadro 5.** Distribución de la tierra de acuerdo a tipo de bosque en Honduras

| Tipo de bosque/Tenencia   | % Tenencia de bosque | Carbono (t)        | Fijación de CO <sub>2</sub> (t) |
|---------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|
| <b>Bosque coníferas</b>   |                      |                    |                                 |
| Nacional                  | 45.4                 | 172,834,135        | 634,301,275                     |
| Ejidal                    | 23.6                 | 89,843,295         | 329,724,893                     |
| Privado                   | 31.0                 | 118,014,497        | 433,113,204                     |
| <b>Bosque latifoliado</b> |                      |                    |                                 |
| Nacional                  | 77.8                 | 469,972,030        | 1,723,230,777                   |
| Ejidal                    | 6.6                  | 39,869,093         | 146,186,674                     |
| Privado                   | 15.6                 | 94,236,037         | 345,532,136                     |
| <b>TOTAL</b>              |                      | <b>984,769,087</b> | <b>3,612,088,959</b>            |

Fuente: Pratt (2000).

### 2.13.10 Contenido de carbono de acuerdo al tipo de bosque en Honduras (1996)

Según las estimaciones hechas a partir de los datos de 1996, se observa en el cuadro 6 que, el país cuenta con un potencial extremadamente alto de fijación de CO<sub>2</sub>, el carbono almacenado por los diferentes tipos de bosque puede ser vendido en el mercado internacional a través de unidades de reducción de emisiones o a través de los Carbon trade offsets (CTO's.)

**Cuadro 6.** Estimación de carbono potencial contenido en la biomasa de acuerdo al tipo de bosque en Honduras. (1996)

| Tipo de bosque             | Contenido de carbono (t) | Fijación de CO <sub>2</sub> (t) |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| <b>Bosque latifoliado</b>  | <b>604,077,160</b>       | <b>2,214,949,587</b>            |
| Manglar                    | 2,742,150                | 10,054,550                      |
| Hoja ancha                 | 5,289,98,610             | 1,939,661,570                   |
| Áreas Protegidas           | 72,336,390               | 265,233,430                     |
| <b>Bosque de coníferas</b> | <b>380,691,927</b>       | <b>1,396,218,080</b>            |
| Coníferas                  | 234,721,880              | 869,114,000                     |
| Áreas protegidas           | 143,642,149              | 527,035,531                     |
| Plantaciones               | 18,687                   | 74,447                          |
| <b>Bosque mixto</b>        | <b>100,917,550</b>       | <b>370,031,017</b>              |
| Protección de cuencas      | 29,635,934               | 108,665,091                     |
| Bosque                     | 71,281,616               | 261,365,925                     |
| <b>Café con sombra</b>     | <b>15,339,610</b>        | <b>56,245,237</b>               |
| <b>Área deforestada</b>    | <b>7,043,500</b>         | <b>25,826,167</b>               |
| Latifoliado                | 6,556,500                | 24,040,500                      |
| Pino                       | 487,000                  | 1,785,667                       |
| <b>Manejo de bosque</b>    | <b>208,921</b>           | <b>766,044</b>                  |
| Latifoliado                | 84,461                   | 309,690                         |
| Coníferas                  | 124,460                  | 456,353                         |
| <b>TOTAL</b>               | <b>1,108,278,668</b>     | <b>4,064,036,132</b>            |

Fuente: Pratt (2000)

## 2.14 LA OFICINA DE IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA

La Oficina de Implementación Conjunta de Honduras (OICH) es creada el 21 de noviembre de 1997 mediante decreto ejecutivo 007-97. Dicho organismo será dirigido por nueve miembros del sector privado y público y presidido por el Ministro de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. Gozará de un patrimonio propio que podrá constituirse mediante donaciones, legados, aportaciones del Gobierno Central, ayuda de organizaciones nacionales, internacionales y multinacionales, públicas o privadas, los excedentes que genere y los recursos y valores generados por otras fuentes (OICH, 1999).

Este esquema permite integrar, tanto, al sector público como privado en el diseño y planificación de acciones que permiten conservar y preservar el medio ambiente de una forma rentable.

La función básica de este organismo es transar los certificados de compraventa de carbono a escala internacional, convirtiéndose en el enlace entre Honduras y los inversionistas internacionales de las Partes.

La finalidad es introducir al mercado mecanismos financieros y tecnologías para reducir la emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero.

El crear la OICH es uno de los requisitos que exige la Convención del Cambio Climático y el Protocolo de Kioto para poder transar certificados a escala internacional.

## 2.15 MARCO LEGAL.

Según PAGS (1999), la Constitución de la República de Honduras contiene 19 artículos que hacen referencia a los recursos naturales y al ambiente, siendo cinco los más relevantes en materia de mercados de carbono, éstos son:

*Artículo 145:* se reconoce el derecho a la protección de la salud. Es deber de todos participar en la promoción de la salud personal y de la comunidad. El Estado conservará el ambiente adecuado para proteger la salud de las personas.

*Artículo 172:* toda riqueza antropológica, histórica y artística de Honduras forma parte del patrimonio cultural de la Nación. La ley establece las normas que servirán de base para su conservación, restauración, mantenimiento y restitución, en su caso.

Los sitios de belleza natural, monumentos y zonas reservadas estarán bajo la protección del Estado.

*Artículo 330:* el Estado reconoce, garantiza y fomenta las libertades de consumo, ahorro, inversión, ocupación, iniciativa, comercio, industria, contratación de empresas y cualesquiera otras que emanen de los principios que forman esta constitución. Sin embargo, el ejercicio de dichas libertades no podrá ser contrario al interés social ni lesivo a la moral, la salud o la seguridad pública.

*Artículo 340:* se declararon de utilidad y necesidad pública la explotación técnica y racional de los Recursos Naturales de la Nación. El Estado reglamentará su aprovechamiento, de acuerdo con el interés social y fijará las condiciones de su otorgamiento a los particulares.

La reforestación del país y la conservación de bosques se declara la conveniencia nacional y de interés colectivo.

*Artículo 34:* el Estado se reserva la potestad de establecer o modificar la demarcación de zonas de control y protección de los Recursos Naturales en el territorio Nacional.

Según la Oficina de Implementación Conjunta de Honduras (OICH) la legislación presenta un marco adecuado para el desarrollo de una institucionalidad para los mercados de carbono a través de ésta oficina.

El subsector forestal donde se encuentra una gran parte de la incertidumbre legal generada por un marco jurídico inadecuado, que limita las posibilidades de aprovechamiento racional y eficiente, tanto por el Estado y sus agencias, como por el sector privado, nacional e internacional (PAGS, 2000).

En el cuadro 7 se mencionan las leyes que rigen el sector forestal de Honduras, así como el decreto y la fecha de aprobación de las mismas.

**Cuadro 7.** Marco legal forestal de Honduras.

| <b>Marco Legal</b>  | <b>Decreto/Reglamento</b>   | <b>Fecha</b>                                |
|---|---|---|
| Ley Forestal  | Decreto N° 85   | 18 de noviembre de 1971                     |
| Ley de la Cooperación Hondureña de Desarrollo Forestal.   | Decreto N° 103  | 10 de enero de 1974                         |
| Ley de Municipalidades  | Decreto N° 134-90<br>Decreto N° 48-91   | 29 de octubre de 1990<br>7 de marzo de 1991 |
| Ley para la Modernización y Desarrollo del Sector Agrícola.   | Decreto N° 31-92  | 5 de marzo de 1992                          |
| Ley General del Ambiente  | Decreto N° 104-93   | 27 de marzo de 1993                         |
| Ley de Incentivos a la Forestación, Reforestación y Protección de Bosque.                                 | Decreto N° 163-93   | 20 de septiembre de 1993                    |
| Reglamento General Forestal   | Acuerdo N° 634  | 9 de abril de 1984                          |
| Reglamento sobre los Aspectos Forestales  | Acuerdo N° 1039   | 2 de julio de 1993                          |
| Reglamento para la Aplicación y Cobro de Multas y Sanciones por incumplimiento de la Legislación Forestal | Acuerdo N° 1088   | 9 de julio de 1993                          |
| Reformas al Acuerdo N° 1039-93  | Reformas a los artículos 2, 10, 12, 11, 13, 15, 43, 41, 57, 62, 63, y 77 del Acuerdo N° 03-96 | 22 de julio de 1996                         |
| Reforma Administrativa del Estado   | Decreto 218-96  | 26 de diciembre de 1996                     |
| Reglamento de Regulación de Derechos de Población en Tierras Nacionales de Vocación Forestal              | Acuerdo Ejecutivo N° 016-96   | 25 de marzo de 1997                         |
|   |   |   |

Fuente: PAGS (1999).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ASPECTOS POLÍTICOS

El trabajo fue realizado en la clase de manejo *Pinus oocarpa/ Pinus maximinoi* del cerro Uyuca. El cerro está ubicado entre los 14° 00' 11'' y los 14° 01' 49'' de latitud Norte y entre los 87° 01' 40'' y los 87° 05' 00'' de longitud oeste, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Está regido por la política forestal de la Región Forestal de Francisco Morazán (E.A.P, 2000)

La parcela de muestreo está ubicada en la clase de manejo antes mencionada, teniendo como límite superior (u oeste) tanto con la Reserva Biológica como con la clase de manejo *Pinus maximinoi* y como límite inferior (o este) las clases de manejo *Pinus oocarpa/ Quercus-Zona alta*.<sup>7</sup>

#### 3.2 ASPECTOS FÍSICOS

La clase de manejo tiene una superficie de 75 ha, la parcela de muestreo tiene una extensión de 38.5 ha.

La clase presenta zonas con pendientes variable que van de 0 a 79% y se extiende desde los 1380 hasta los 1500 msnm.

La temperatura media anual varía entre 12° C y 20° C. La precipitación promedio total anual, oscila entre 1000 y 2000 mm (E.A.P, 2000). La zona está ubicada en el bh-S según la clasificación Holdridge.

La composición florística de esta clase está determinada principalmente por rodales mixtos de *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi* y en menor proporción por rodales puros de las dos primeras especies. El sotobosque está recubierto por *Hyparrhenia rufa*. Esta clase de manejo estaba dedicada a la producción de madera.

#### 3.3 METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO

En 1988, Agudelo realizó el primer Plan de Manejo para la zona sustentado básicamente en la filosofía de clases de manejo y clases de tratamiento o carta de rodales. Para ello, se dividió la zona en cinco clases de manejo, las mismas que son mencionadas en el cuadro 8.

---

<sup>7</sup> Agudelo, N. 2000. Identificación de las clases de manejo del cerro Uyuca. Zamorano, Honduras. *Com. Per.*

**Cuadro 8.** Clases de manejo con sus respectiva superficie para el bosque del cerro Uyuca. Honduras.

| Número de clase | Nombre de clase                              | Superficie (ha) |
|-----------------|--|-----------------|
| 1               | <i>P. maximinoi</i> / <i>P. Oocarpa</i>      | 75.0            |
| 2               | <i>P.oocarpa</i> / <i>Quercus</i> zona alta  | 207.0           |
| 3               | <i>P. oocarpa</i> / <i>Quercus</i> zona baja | 148.0           |
| 4               | <i>Quercus</i> / <i>P. Oocarpa</i>           | 85.0            |
| 5               | <i>Quercus</i> / otras latifoliadas          | 34.0            |
| <b>TOTAL</b>    |  | <b>549.0</b>    |

Fuente: E.A.P (1999)

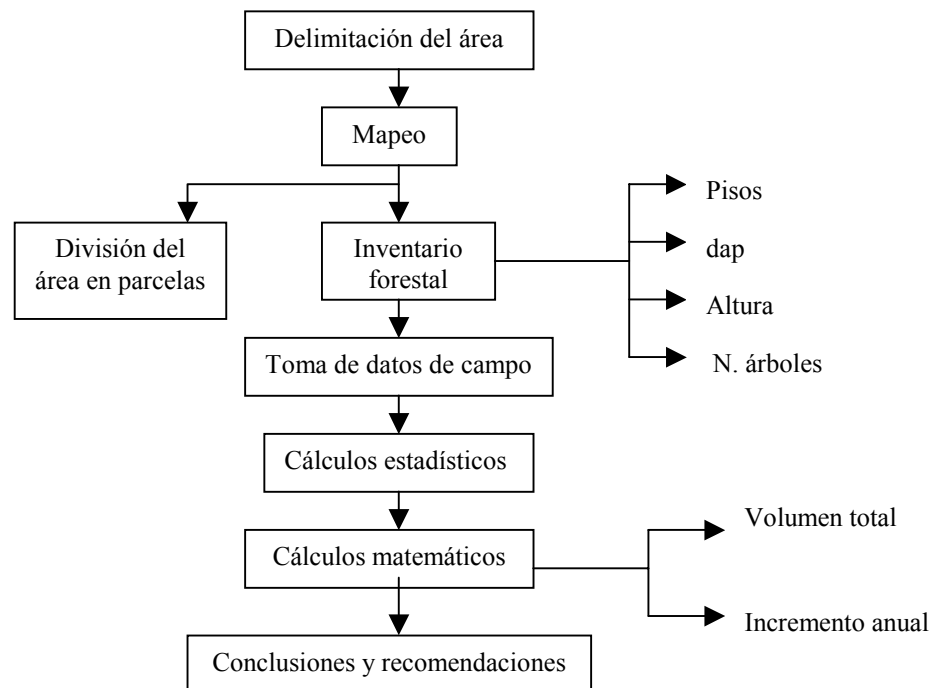
Dentro del bosque se identificaron y clasificaron ocho clases de tratamiento, cuyo nombre y características principales aparecen en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Clases de tratamiento para el bosque de producción del Cerro Uyuca. Honduras.

| Número | Nombre de la clase                  | Características   |
|--------|-------------------------------------|---|
| 1      | Brizal                              | Regeneración de pino establecida con altura total mayor o igual a 1m y dap menos de 5 cm.   |
| 2      | Latizal                             | Bosque de pino joven con individuos con 5 cm $\geq$ dap < 25 cm.  |
| 3      | Fustal                              | Bosque de pino maduro > individuos con dap $\geq$ a 25 cm.  |
| 4      | Area plantada                       | Bosques artificiales de pino.   |
| 5      | Area potencial a plantar            | Area despoblada de vegetación por diferentes causas con potencial para el establecimiento de plantaciones de pino u otras especies.                         |
| 6      | Area de protección                  | Areas que por su topografía, presencia de corrientes de agua, obras de conservación de suelos y control de torrentes, pueden ser intervenidas parcialmente. |
| 7      | <i>Quercus</i> y otras latifoliadas | Areas cubiertas con una o varias especies de <i>Quercus</i> y otras especies latifoliadas.  |
| 8      | Otras áreas                         | Terrenos ubicados en carreteras, viveros y otros usos de la tierra  |

Fuente: E.A.P (1999)

En 1988, Agudelo delimitó el área que corresponde a la clase de manejo *P. maximinoi* / *P. oocarpa* trazando líneas rectas a 90 grados, es decir que todas las líneas tenían dirección norte o este. El trazo de las líneas fue hecho con teodolito.



**Figura 3.** Esquema seguido en el campo para la recopilación de información.



El esquema utilizado para el trabajo de campo se presenta en la figura tres, en ella se puede observar los pasos seguidos para la recolección de datos y la secuencia que se siguió para el análisis de la información recolectada.

### **3.4 DELIMITACIÓN DEL ÁREA (ZONA DE ESTUDIO).**

En 1988 se realizó la delimitación de la zona, la misma que consistió en ir colocando, cada cien metros lineales, tubos de color rojo enterrados y sujetos al suelo con cemento, se eligió este color para que sea apreciable en el campo y no se confunda con la vegetación. De esta manera el trabajo realizado quedaba permanentemente en el campo y podía ser utilizado cuando fuere necesario.

Para el presente estudio, en base con el mapa de clases de manejo del cerro Uyuca, se procedió a encontrar un punto en la línea que sirviera de referencia. El punto encontrado estaba ubicado en la línea inferior a una altura de 1380 msnm, este fue tomado como base para, con ayuda del teodolito, volver a trazar el recorrido de la línea.

Por actividades de extracción en 1997, en el área no se pudo encontrar la totalidad de los tubos siendo necesario volver a establecer los puntos perdidos. El mismo procedimiento se siguió para el trazado de la línea superior de la clase de manejo, a una altura de 1500 msnm.

El área no pudo ser delimitada en su totalidad por cambios presentados en el terreno como consecuencia del huracán Mitch. Se delimitó una parcela en el centro de la clase de manejo siguiendo los límites superior e inferior anteriormente mencionados.

Para la delimitación se abrió una brecha de aproximadamente 50 cm de ancho, la misma que unía cada uno de los tubos, utilizándose tres trabajadores con cinco días hombre de labor.

### **3.5 MAPEO CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.**

Una vez delimitada el área se procedió a mapear el área utilizando el GPS (Geographic Position System).

El procedimiento consistió en colocar el sensor en cada uno de los tubos colocados cada cien metros y esperar hasta que el conteo, de cien puntos, sea efectuado por la máquina. De esta forma se pudo tomar los datos para procesar el mapa de la delimitación realizada en el campo.

Los datos tomados fueron sometidos a corrección con archivos de referencia que posee la unidad. Los archivos corregidos sirvieron para, a través de las coordenadas geográficas, ubicar el área en la hoja cartográfica a escala de 1:50,000.

La parcela delimitada en la hoja cartográfica fue digitalizada, proceso por el cual se traslada la información de forma impresa a una forma digital. Los errores fueron corregidos creando una tabla de atributos en el programa Fox Pro. La base de datos detallaba características de: área, perímetro, pendiente, tratamiento. Esta información fue llevada al programa Arc View en donde se dio color, texto, escala y orientación a cada mapa. Para este fin se utilizó dos días hombre.

### **3.6 DIVISIÓN DE LA ZONA POR PENDIENTES**

En el estudio hecho por Agudelo en 1988 se realizó una caracterización de cerro Uyuca por pendientes, esta información se tomó como base y fue verificada en el campo utilizando el clinómetro.

En un lugar plano se observó a través del clinómetro la altura de una persona que sirvió como referencia. Se determinó el lugar de su cuerpo en dónde la lectura era cero.

En el campo se procedió a determinar la pendiente observando, nuevamente, a la misma persona a través del clinómetro y buscando la parte de su cuerpo que sirvió de base, en este punto se encontraba la lectura de la pendiente. Dichas lecturas fueron anotadas en hojas de registro que determinaban el área que estaba siendo medida. Esta información fue corroborada tomando como base el mapa topográfico a escala 1:50,000.

### **3.7 LEVANTAMIENTO Y DIGITALIZACIÓN DEL MAPA DE PENDIENTES.**

Con los datos obtenidos con el GPS se realizó el mapa georeferenciado a escala de 1:50000, el mismo que fue sobrepuesto en la hoja cartográfica de Tegucigalpa en los cuadrantes 1549, 1550, 1551 norte y 493, 494 este.

Una vez sobrepuesta la delimitación de la parcela en la hoja cartográfica se pasó la información del mapa impreso a forma digital dibujando cada una de las curvas a nivel o cotas que cubren el área. Se corrigieron los errores cometidos en la digitalización y se asignó a cada una de las curvas su elevación respectiva. Todo este proceso fue realizado en la mesa digitalizadora con ayuda del programa Arc. Info.

Luego, en el programa Arc. View se elaboró un modelo de elevación digital para posteriormente sacar el respectivo mapa de pendientes.

### **3.8 PARCELAS DE EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS.**

Para las parcelas de evaluación de tratamiento se realizó un muestreo sistemático de la zona, delimitando parcelas de 400 metros cuadrados en cada hectárea de bosque. Con un total de 24 parcelas de muestreo.

Se decidió realizar un muestreo sistémico de la zona por existir una gran variabilidad en edad de los árboles, pendiente y suelo. Al muestrear mayor número de parcelas de menor área se está reduciendo gran parte de la variabilidad observada en el campo. Esta decisión fue tomada en base con el criterio técnico de personal experimentado.<sup>8</sup>

Para ubicar las parcelas de muestreo se abrieron brechas, cada cien metros lineales, que tienen orientación de norte a sur y de este a oeste. Se realizó de esta forma para que sea fácilmente replicable el experimento.

Cada punto de intersección de las líneas se convirtió en el centro de la parcela de muestreo. En este punto se colocó una estaca de un metro y medio de alto, la misma que posee una plancheta en su parte superior. La plancheta sirvió para dar la dirección de las líneas de

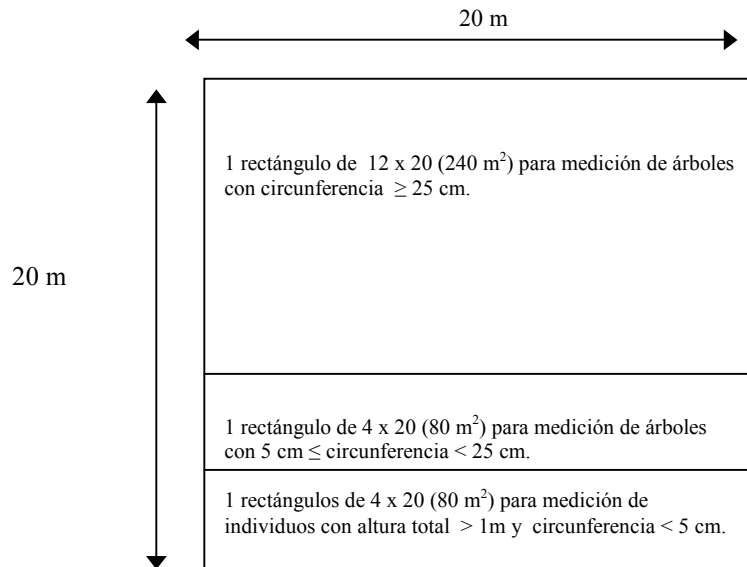
---

<sup>8</sup> Avedillo, M. Muestreo Experimental. Zamorano, Honduras. *Com. Per.*

delimitación, pues posee un clavo en cada vértice del cuadrado que la forma. Al alinear los dos clavos se pudo trazar en forma recta la trayectoria de cada línea.

Con una cinta métrica se midió los 20 metros y se puso una estaca al final. Todas las parcelas de muestreo fueron colocadas en la misma dirección para disminuir el error. Se utilizó éste diseño para determinar el piso dominante y con ello definir la clase de desarrollo. En planes de manejo sirve para calcular el volumen total de madera que puede aserrarse en el área.

El diseño de la parcela de muestreo es el mismo que utilizó Agudelo en 1988 y se presenta en la Figura 4.



**Figura 4.** Diseño de la parcela de muestreo para el levantamiento del inventario.

En las parcelas de midió:

- la circunferencia en cm con cinta métrica, a la altura de pecho.
- altura en m con el clinómetro (para árboles mayores a 15 m de alto) y con la vara telescópica (para árboles menores a 15 m de alto), y
- número de árboles en cada sub parcela .

Este trabajo se volvió a realizar con el fin de verificar en el campo la distribución arbórea en la zona, así como la composición florística. Para está tarea se utilizó nueve días hombre.

### 3.9 PARCELAS DE MUESTREO PERMANENTE

La información obtenida para el cálculo de las curvas de crecimiento fue suministrada por Groothusen<sup>9</sup>, investigador forestal mentor de la red de parcelas permanentes.

Los datos obtenidos fueron mediciones de diámetro en cm y altura en m de los árboles de cada parcela en los años: 1978, 1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1990, 1992, 1993, 1995, 1997 y 1999. Son siete las parcelas ubicadas en Uyuca.

<sup>9</sup> Groothesen, C. 2000. Parcelas de muestreo permanente. ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras. *Com. Per.*

Para cada parcela existe un número correlativo asignado por el investigador, así como datos de ubicación, índice de sitio, calidad de sitio, especie predominante, área y unidad.

Los datos sirvieron para calcular las curvas de crecimiento para la especie en esta región. Para ello se utilizó la fórmula 20 de la FAO [1], la misma que ha sido anteriormente utilizada por el investigador para los cálculos.

### **3.10 TABLAS DE VOLUMEN Y TARIFAS.**

En 1986 el área en estudio estaba bajo aprovechamiento, permitiendo construir dos tablas de volumen para *Pinus oocarpa* y una tabla para *Pinus maximinoi*.

La diferenciación de dos tablas para *P. oocarpa* se justificó por las aparentes variaciones entre los dos sitios en donde fueron tomadas las muestras, las que se reflejaban en alturas diferentes para individuos de aproximadamente el mismo diámetro. Por este motivo se elaboró una tabla para individuos que se encontraban a una elevación de 1500 msnm y otra para aquellos que se encontraban a 1450 msnm. La selección de los árboles a cubicar fue hecha aleatoriamente dentro del lote a aprovechar.

Los datos de *P. maximinoi* fueron obtenidos de parcelas que estaban ubicadas a 1600 msnm.

La recolección de datos fue hecha en base con las clases diamétricas, siendo 10 (con 5 cm de amplitud) para el caso de *P. oocarpa* de la parte baja, 13 (con 25 cm de amplitud) para *P. oocarpa* de la parte baja y 10 (con 25 cm de amplitud) para *P. maximinoi*. La muestra levantada fue de 104 individuos para *P. oocarpa* zona baja, 96 individuos para *P. oocarpa* zona alta y 83 árboles para *P. maximinoi*.

En los árboles en pie se midió el dap con corteza y el doble espesor de la corteza. Una vez cortados se procedió a medir la altura total y comercial.

El fuste del árbol fue dividido en secciones de un metro de largo, en cada sección se midió el diámetro con corteza y el espesor de la corteza en cuatro puntos opuestos, todo esto con la cinta métrica (Procedimiento realizado por Agudelo, 1988).

### **3.11 CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO EN LA BIOMASA.**

Para cuantificar el potencial de la fijación y reducción potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> se utilizaron fórmulas aprobadas por la IPCC y que han sido utilizadas en estudios anteriores. Las fórmulas serán mencionadas a continuación.

#### **3.11.1 Volumen del fuste en coníferas.**

La fórmula de la FAO ha sido utilizada para los cálculos hechos en las parcelas de muestreo permanente de Honduras.

Se presentan, además, cuatro fórmulas obtenidas por Agudelo en 1988 como parte de su trabajo en el cerro Uyuca, dichas fórmulas presentan ajustes altos.

Con este estudio se obtuvieron ecuaciones específicas para el lugar, las ecuaciones 2 y 4 poseen dos variables dap y altura, estas son las de mayor ajuste, con resultados más confiables (ajuste de 98% en el primer caso y 95% en el segundo).

|   |            |
|---|------------|
| <b>Pino: <math>V_{fsc} = 0.0003195 * d^{1.721} * h^{1.088}</math></b>   |            |
| Dónde:  | <b>[1]</b> |
| <b>V<sub>f</sub></b> = volumen del fuste en m <sup>3</sup><br><b>d</b> = dap en dm<br><b>h</b> = altura total en dm |            |
| FAO 20 citado por Groothousen, 2000   |            |

En la práctica existen zonas con densidades altas y árboles adultos, estas características dificultan la labor de medición de la altura de los individuos, siendo práctico utilizar la ecuación 3 y 5, la cual permite calcular el volumen en base con el dap. Dichas ecuaciones poseen ajustes altos (93% en el primer caso y un ajuste medio de 86% en el segundo caso).

|  |            |
|--|------------|
| <b><i>Pinus maximinoi</i></b>  |            |
|  | <b>[2]</b> |
| <b>VT<sub>cc</sub> = 0.563597 + 0.000025 (d<sup>2</sup> * h)</b> <b>r<sup>2</sup> = 0.95</b>                 |            |
| <b>VT<sub>cc</sub> = 0.265301 + 0.000914 (d<sup>2</sup>)</b> <b>r<sup>2</sup> = 0.863</b> <b>[3]</b>         |            |
| Dónde:   |            |
| <b>VT<sub>cc</sub></b> = volumen total con corteza.<br><b>d</b> = dap en cm.<br><b>h</b> = altura total en m |            |
| Agudelo, 1988  |            |

Para *Pinus oocarpa* se determinaron las siguientes funciones.

|  |            |
|--|------------|
| <b><i>Pinus oocarpa</i></b>  |            |
|  | <b>[4]</b> |
| <b>VT<sub>cc</sub> = 0.10328 + 0.000031 (d<sup>2</sup> * h)</b> <b>r<sup>2</sup> = 0.984</b>                 |            |
| <b>VT<sub>cc</sub> = - 0.53535 + 0.001247 (d<sup>2</sup>)</b> <b>r<sup>2</sup> = 0.932</b> <b>[5]</b>        |            |
| Dónde:   |            |
| <b>VT<sub>cc</sub></b> = volumen total con corteza.<br><b>d</b> = dap en cm.<br><b>h</b> = altura total en m |            |
| Agudelo, 1988  |            |

### 3.11.2 Volumen de corteza para coníferas:

Pérez (citado por Ferreira y Martínez , 1998) en un estudio realizado para calcular el volumen de la corteza para coníferas determinó un porcentaje de corteza en el rango de 12 a 22% Grothoousen por su parte recomienda utilizar la siguiente fórmula para el cálculo.

|   |            |
|---|------------|
| <b><math>V_c = (1 - (V_{fsc}^2 / V_{fcc}^2)) * V_{fcc}</math></b>   |            |
| Dónde:  | <b>[6]</b> |
| <b>V<sub>c</sub></b> = volumen de corteza en m <sup>3</sup><br><b>V<sub>fsc</sub></b> = volumen del fuste sin corteza en m <sup>3</sup><br><b>V<sub>fcc</sub></b> = volumen del fuste con corteza en m <sup>3</sup> |            |
| Grothoousen, 2000   |            |

### 3.11.3 Biomasa Coníferas:

El valor del peso específico de la madera, utilizado en la fórmula [7], fue obtenido de varios estudios realizados por personal de ESNACIFOR en Honduras con *Pinus oocarpa*.

|   |
|---|
| $\mathbf{Bc} = (\mathbf{Vf} + \mathbf{Vc}) * \mathbf{Dm} \quad \mathbf{[7]}$  |
| <p>Dónde:</p> <p><b>Bc</b> = Biomasa de coníferas (ton/ha)</p> <p><b>Vf</b> = Volumen fuste (m<sup>3</sup>/ha)</p> <p><b>Vc</b> = Volumen corteza (m<sup>3</sup>/ha)</p> <p><b>Dm</b> = Densidad de la madera (ton/m<sup>3</sup>) ( Para el caso del peso específico de <i>Pinus oocarpa</i> el valor se encuentra en el rango de 0.51-0.55)</p> <p style="text-align: right;">Pérez citado por Ferreira y Martínez, 1998</p> |

### 3.11.4 Carbono real:

La fórmula [8] sirve para determinar la cantidad de carbono potencial de un área dada.

|   |
|---|
| $\mathbf{Cr} = \mathbf{Cp} * \mathbf{A} \quad \mathbf{[8]}$   |
| <p>Dónde:</p> <p><b>Cr</b> = Carbono real (ton/ha)</p> <p><b>Cp</b> = Carbono potencial (ton)</p> <p><b>A</b> = Superficie del tipo de vegetación (ha)</p> <p style="text-align: right;">Pérez citado por Ferreira y Martínez, 1998</p> |

La medición del carbono fijado por un determinado tipo de vegetación, puede ser determinado a partir de la dinámica de crecimiento reportada para un determinado ecosistema (Alpizar, 1998).

## 3.12 MEDIDAS DE AJUSTE DE VOLUMEN

### 3.12.1 Factor de expansión de volumen (FEV):

Cuando se tiene un inventario con fines comerciales (dap = 30) se deprecia el volumen no comercial, en este caso son los fustes que tienen un dap entre 10 y 30 cm, por consiguiente existe un subestimación de la biomasa y del potencial de fijación de carbono en el área.

Para tomar en cuenta fustes con un mínimo de 10 cm de dap es necesario utilizar un Factor de Expansión de Volumen (FEV).

Si el volumen es menor a 250 m<sup>3</sup> /ha el FEV está dado por la ecuación [9].

$$\mathbf{FEV} = e^{(1.3 - 0.209 * \ln(\text{volumen}))} \quad \mathbf{[9]}$$

Y si el volumen es = a 250 m<sup>3</sup>/ha se usa el factor de expansión del volumen expresado en la ecuación [10].

$$\mathbf{FEV = 1.13} \qquad \mathbf{[10]}$$

Fuente: Brown, 1997.

### 3.12.2 Factor de expansión de biomasa (FEB)

El volumen de madera obtenido debe ser convertido a peso seco, por esto para cuantificar la biomasa se utiliza la relación volumen/ peso específico de la madera que para efecto de las coníferas el IPCC (1996) acepta un valor de 0.45 t ms/m<sup>3</sup>.

Al multiplicar el volumen por éste factor se obtiene toneladas de materia seca/ hectárea del fuste por lo que excluye la biomasa de ramas y follaje. Para incorporar ésta biomasa se utiliza el Factor de Expansión de Biomasa (FEB).

Si el valor de la biomasa es < a 190 ton/ha el FEB está dado por la ecuación [11].

$$\mathbf{FEB = e^{(3.213 - 0.506 \times \text{Ln (biomasa)})}} \qquad \mathbf{[11]}$$

Y si el valor es = 190 ton/ha entonces se usa la ecuación [12].

$$\mathbf{FEB = 1.75} \qquad \mathbf{[12]}$$

La cuantificación se hizo para cada estrato.

Fuente: Brown, 1997.

### 3.12.3 Métodos de aproximación:

Las emisiones netas de CO<sub>2</sub> resultantes de actividades forestales pueden ser calculadas de dos maneras: a) por aproximación de existencias y b) por aproximación de flujo.

La información que se presenta a continuación es tomada de la metodología utilizada por el World Bank para los proyectos forestales de Mitigación del Cambio Climático, dicha metodología tiene la aprobación del IPCC.

- **El método de aproximación de existencias** es utilizado cuando no existen datos anuales de emisiones de CO<sub>2</sub>, por este motivo se miden los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> al principio y al final del proyecto atribuyendo el cambio neto de las existencias de CO<sub>2</sub> al proyecto.
- **La aproximación de flujo** consiste en una evaluación anual de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de secuestro asociadas con las actividades del proyecto.

Sin hacer caso de la aproximación seleccionada para cálculo, el proyecto debe:

- Recopilar una lista de todas las actividades forestales asociadas con el almacenaje y flujo de carbono en el escenario del proyecto en comparación con el escenario de referencia.

- Identificar los tipos de suelo y los límites de las áreas sobre las cuales se están realizando las actividades y/o influyen en el flujo de CO<sub>2</sub>.
- Identificar el tiempo para que estas actividades influyan en el flujo de CO<sub>2</sub>.

En las dos aproximaciones, el almacenaje de carbono está dividido en tres componentes: biomasa sobre el suelo, biomasa bajo el suelo y carbono orgánico existente en el suelo. Biomasa se refiere a material orgánico vivo y muerto tanto sobre el suelo como bajo el mismo (principalmente raíces). Los cálculos de almacenaje de C y emisión de CO<sub>2</sub> de cada componente deben hacerse por separado pues pueden existir diferencias grandes entre cada uno.

◆ **Estimación del almacén inicial de carbón en el área del proyecto.**

Total del área del proyecto (ha) \* ((Densidad de la biomasa inicial) (t dm/ha) \* (Contenido carbono en la biomasa) (t C/ t dm) + Contenido de carbono en el suelo (t C/ha))

◆ **Estimación del almacenaje final en el área del proyecto.**

Total del área del proyecto (ha) \* ((Densidad de la biomasa final) (t dm/ha) \* (Contenido carbono en la biomasa) (t C/ t dm) + Contenido de carbono en el suelo (t C/ha))

◆ **Estimación del cambio total de almacenaje de Carbono y emisiones en el área del proyecto.**

Almacenaje final de carbono (t C) - Almacenaje inicial de carbono (t C) = Cambio neto en el carbono almacenado (t C)

Cambio neto en el carbono almacenado (t C) \* Conversión con el peso molecular \* (-1) = Emisiones netas de CO<sub>2</sub> (+) secuestración (-) (t CO<sub>2</sub>/ t C) (t CO<sub>2</sub>)

En dónde:

*Área total del proyecto:* es definida como el área sobre la cual el proyecto tiene impacto en el flujo de CO<sub>2</sub>. Si el proyecto envuelve múltiples áreas o actividades, el proyecto debe ser dividido en parcelas apropiadas, aplicando la fórmula para cada parcela.

*Densidad de la biomasa:* debe incluir el almacenaje de la biomasa sobre la tierra y bajo la tierra, dependiendo de los datos con que se cuente.

*Contenido de carbón de la biomasa:* en la ausencia de datos específicos del área, puede ser utilizado el valor de 0.5 t C/ t ms.

*Razón de peso atómico molecular:* para convertir t C a t de CO<sub>2</sub>, se aplica el ratio 44 t de CO<sub>2</sub>/ 12 t C.

*Secuestramiento/ emisiones netas de CO<sub>2</sub>:* las emisiones son asignadas con un valor positivo mientras que el secuestramiento es asignado como un valor negativo. Al incrementar el



almacenaje de carbono corresponde a un secuestro neto, un decremento en el almacenaje de carbono corresponde a una emisión neta. El factor (-1) es aplicado en la fórmula para mantener consistencia.

◆ **Estimación del secuestro de carbono anual por el crecimiento de la biomasa en el área del proyecto.**

$$\begin{array}{l} \text{Área total} \\ \text{del proyecto} \\ \text{(ha)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Incremento anual} \\ \text{de la biomasa} \\ \text{(t ms/ha-año)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Contenido de carbono} \\ \text{de la biomasa} \\ \text{(t C/t ms)} \end{array} * (-1) = \begin{array}{l} \text{Carbón de la biomasa} \\ \text{anual} \\ \text{(t C/año)} \end{array}$$

◆ **Estimación de la acumulación anual de carbón en el suelo del área del proyecto.**

$$\begin{array}{l} \text{Área total} \\ \text{del proyecto} \\ \text{(ha)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Porción de carbono} \\ \text{acumulado en el suelo} \\ \text{(t C/ha-año)} \end{array} * (-1) = \begin{array}{l} \text{Cambio anual de carbono} \\ \text{en el suelo} \\ \text{(t C/año)} \end{array}$$

◆ **Estimación de la emisión anual de carbono en la biomasa en el área del proyecto.**

$$\begin{array}{l} \text{Área total} \\ \text{del proyecto} \\ \text{(ha)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Biomasa cosechada o} \\ \text{destruida en un año} \\ \text{(t ms/ha-año)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Contenido de carbono} \\ \text{en la biomasa} \\ \text{(t C/t ms)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Emisiones anuales de} \\ \text{carbono de la biomasa} \\ \text{(t C/año)} \end{array}$$

◆ **Estimación de las emisiones anuales de carbono en el suelo en el área del proyecto.**

$$\begin{array}{l} \text{Área total} \\ \text{del proyecto} \\ \text{(ha)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Porción de emisiones} \\ \text{de carbono del suelo} \\ \text{(t C /ha-año)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Emisiones anuales de carbono} \\ \text{del suelo} \\ \text{(t C/año)} \end{array}$$

◆ **Estimación de emisiones o secuestro neto anual de carbono en el área del proyecto.**

$$\begin{array}{l} \text{Secuestro} + \\ \text{anual de carbono} \\ \text{en la biomasa} \\ \text{(t C/año)} \end{array} + \begin{array}{l} \text{acumulación} \\ \text{de carbono anual} \\ \text{en el suelo} \\ \text{(t C/ año)} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Emisiones anuales} \\ \text{de carbono en la} \\ \text{biomasa} \\ \text{(t C/año)} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Emisiones anuales} \\ \text{de carbono en el} \\ \text{suelo} \\ \text{(t C/año)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Emisiones o secuestro} \\ \text{neto anual} \\ \text{(-)} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Emisiones o secuestro} \\ \text{Neto anual} \\ \text{(t C/ año)} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Ratio del peso atómico molecular} \\ \text{(t CO}_2\text{/t C)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Emisiones (+) o secuestro} \\ \text{neto anual de CO}_2 \\ \text{(t CO}_2\text{/ año)} \end{array}$$

◆ **Estimación total de las emisiones o secuestro de CO<sub>2</sub> en el área del proyecto.**

Emisiones o secuestro neto de CO<sub>2</sub> anual =  $Y_1$  = año inicial del proyecto y  $Y_f$  = año final del proyecto.

En dónde:

*Incremento del crecimiento anual de la biomasa:* puede incluir el incremento en crecimiento de la biomasa sobre el suelo o el incremento en el crecimiento tanto de la biomasa sobre y bajo el suelo, depende de la disponibilidad de datos. Si es excluido el incremento en el crecimiento de la biomasa sobre el suelo también debe ser excluido la destrucción o cosecha anual de

biomasa porque las emisiones de CO<sub>2</sub> son asignadas con un valor positivo y el secuestro de carbono con un valor negativo.

El incremento anual de la biomasa varía de acuerdo a las especies y la edad de la biomasa así como por el amplio rango climático.

*Rango de emisiones o acumulación de carbono en el suelo:* un incremento en el total de carbono almacenado en el suelo corresponde al secuestro de carbono, por el contrario, un decremento en el total de carbono almacenado corresponde a emisiones de CO<sub>2</sub>. Porque las emisiones de CO<sub>2</sub> son asignadas con un valor positivo y el secuestro con un valor negativo, el factor (-1) es aplicado a la acumulación de carbono en el suelo para mantener la consistencia.

*Biomasa cosechada o destruida anualmente:* para efectos de este estudio se asume que el 100% de carbono contenido en la biomasa cosechada o destruida regresa a la atmósfera en el año en que es retirada del área del proyecto.

*Emisiones o secuestro neto de CO<sub>2</sub>:* se aplica el factor (-1) para expresar como positivos los valores de emisiones y como negativos los valores de secuestro.

#### ◆ **Estimación del impacto de quemaduras en la apertura de biomasa.**

Varias actividades forestales envuelven actividades en las que la apertura y quema de biomasa o vegetación es imperante. La quema es utilizada como una herramienta de manejo para limpiar el terreno antes de plantar cultivos o árboles, para enriquecer suelos o para regeneración de ciertas especies de plantas.

Cuando la vegetación es quemada, la mayoría del carbono contenido en la biomasa o es oxidada y emitida a la atmósfera como CO<sub>2</sub> o es convertida en carbono en donde permanece guardado en forma indefinida. Aproximadamente el 10% del carbono de la biomasa quemada, en un lugar abierto, es convertido en CO<sub>2</sub>. En adición al CO<sub>2</sub>, estas actividades generan otros gases del efecto invernadero como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, NO<sub>x</sub>, entre otros,

Para calcular la biomasa quemada se siguen los siguientes pasos:

- Estimar la cantidad de biomasa quemada expresada en t ms/ha.
- Estimar la cantidad de carbono remanente. Para ello se multiplica la biomasa quemada (t ms) por la fracción de la biomasa oxidada y el contenido de carbono de la biomasa (t C/ t ms) para determinar el total de carbono liberado por la quema (t C). Si falta valores la fracción de biomasa oxidada es 0.9 (remanente como carbono vegetal que no es oxidado en el sitio).
- Estimación del total de N liberado. La suma de Carbono liberado de la quema (t C) es multiplicado por el ratio de Nitrógeno en el carbono de la biomasa, N/C es de 0.01.
- Aplicar las emisiones y los ratios entre el peso molecular y el atómico para calcular los ratios de peso total de las emisiones los no CO<sub>2</sub> gases.

#### ◆ **Estimación del total de carbono liberado por la quema.**

Área total del proyecto \* Densidad de la biomasa \* Fracción de la biomasa \* Contenido de carbono = Total de  
Sobre el suelo quemada oxidada carbono liberado

(ha) (t ms/ ha) (t C/ t ms)

◆ **Estimación del total de Nitrógeno liberado de la quema de la biomasa.**

Total de carbono liberado \* N/ C ratio = Total de nitrógeno liberado en la quema de biomasa.  
De la quema de biomasa  
(t C) (t N/ t C) (t N)

◆ **Estimación de no CO<sub>2</sub> gases liberados en la quema de biomasa.**

Carbono liberado por la \* Ratio de emisión \* Peso molecular/ peso atómico = Emisiones de CH<sub>4</sub>  
Quema de biomasa de CH<sub>4</sub>  
(t C) (t CH<sub>4</sub>/ t C) (t CH<sub>4</sub>)

Carbono liberado por la \* Ratio de emisión \* Peso molecular/ peso atómico = Emisiones de CO  
Quema de biomasa de CO  
(t C) (t CO/ t C) (t CO)

Nitrógeno liberado por la \* Ratio de emisión \* Peso molecular/ peso atómico = Emisiones de N<sub>2</sub>O  
Quema de biomasa de N<sub>2</sub>O  
(t N) (t N<sub>2</sub>O/ t N) (t N<sub>2</sub>O)

Nitrógeno liberado por la \* Ratio de emisión \* Peso molecular/ peso atómico = Emisiones de NO<sub>x</sub>  
Quema de biomasa de NO<sub>x</sub>  
(t N) (t NO<sub>x</sub>/ t N) (t NO<sub>x</sub>)

Se debe aclarar que el estudio consistió únicamente en la cuantificación del carbono y no en la cuantificación de otros gases como es el caso de nitritos y metano.

### 3.13 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

#### 3.13.1 Modelo estadístico

En el trabajo desarrollado por Agudelo (1988), se desarrollaron algunos modelos para estimar el volumen total del fuste con corteza a partir de dos variables (dap y altura). Los modelos construidos fueron lineales y cuadráticos y sus comprobaciones se realizaron mediante paquetes estadísticos.

Los modelos con mejor ajuste se seleccionaron con base en los siguientes criterios: lógica biológica del modelo, coeficiente de ajuste del modelo ( $r^2$ ), coeficiente de variación (cv%), criterio técnico y prueba F (análisis de varianza) para cada modelo y para cada parámetro.

#### 3.13.2 Evaluación de la zona por pendientes

La zona fue clasificada en tres grupos de pendientes: 0 – 27% (moderadamente ondulado), 28 – 47% (fuertemente ondulado) y 48 – 79% (empinado). Se determinó que existen ciertas áreas

que han sido modificadas a raíz del huracán Mith pero éstas no representan cambios significativos en pendiente.

### **3.13.3 Evaluación de la zona por tratamientos**

Se volvió a replicar la metodología utilizada por Agudelo en (1988), con el fin de determinar los pisos dominantes en cada una de las áreas y tener una caracterización más precisa de la zona. Se tomó esta decisión, una vez realizada la visita de campo y haber observado la variabilidad en cuanto a tamaño y dap en los árboles.

Al definir el piso dominante se puede determinar la edad total promedio, la altura promedio así como el volumen en m<sup>3</sup>/ha con corteza y el incremento anual en m<sup>3</sup>/ha/año también con corteza (CEMAPIF, 1999).

### **3.13.4 Curvas de crecimiento y acumulación de biomasa de las especies**

Para el cálculo se utilizaron los datos obtenidos por Cornelio Grothoousen en las parcelas de muestreo permanente que están ubicadas en Zamorano. Para el cálculo del volumen del fuste sin corteza se utilizó una fórmula logarítmica desarrollada por la FAO [1] en 1964.

Esta fórmula es aceptada en el ámbito internacional para la estimación del volumen del fuste de *Pinus spp.*

Con los datos obtenidos de DAP y altura se procedió a calcular el volumen del fuste sin corteza de cada árbol, éste valor fue multiplicado por el número final de árboles por hectárea para cada año en cada uno de las parcelas. Al final se sumaron los volúmenes totales de todas las parcelas y se dividió para el número final de parcelas. Los cálculos fueron realizados en dos grupos, a) para parcelas que habían sido establecidas en la zona y b) para parcelas naturales en manejo (sometidas a podas y raleos).

El volumen de la corteza fue calculado con la ecuación 6. Los cálculos, al igual que el procedimiento anterior, fueron realizados para los dos grupos.

### **3.13.5 Tasas de aprovechamiento de madera en la zona**

Basado en los datos de las parcelas de muestreo permanente, se consideró como tasa de aprovechamiento de madera al cambio en la cantidad de árboles registrados en cada año de medición en las parcelas de muestreo de la zona.

Se calculó el volumen promedio por hectárea por año de medición y se multiplicó por el número promedio de árboles extraídos de la zona, éste cálculo fue realizado para los dos grupos mencionados anteriormente.

### **3.13.6 Cuantificación del potencial de fijación de C en la zona**

Con base en los datos de biomasa total en metros cúbicos por hectárea, se procedió a realizar el ajuste de la biomasa, que consiste en multiplicar el valor de la biomasa total por el factor de expansión del volumen descrito en las ecuaciones 9 y 10. El FEV es utilizado para completar

el volumen comercial sumando el volumen de aquellos árboles que se encuentran en los estratos inferiores y que no han sido medidos.

El volumen corregido fue transformado a toneladas de materia seca por hectárea usando el factor de conversión  $0.45 \text{ t ms/m}^3$ , factor calculado en base con el peso específico de la madera.

Una vez calculado el volumen por hectárea expresado en materia seca se procedió a multiplicarlo por el factor de expansión de la biomasa, factor que estima la biomasa de ramas y follaje, el FEB está descrito en las ecuaciones 11 y 12.

El volumen total de la biomasa sobre el suelo expresada en materia seca fue multiplicada por el contenido de C en la biomasa. Se estima que el 45% de la biomasa es carbono.

### **3.13.7 Cuantificación del potencial de fijación de C en la parcela de estudio.**

Los datos obtenidos en el inventario forestal fueron ordenados por parcela y por piso, se calcularon las medias para altura en m, dap en cm y número de árboles. Estos datos fueron transformados a datos por hectárea de acuerdo a la proporción que tenía cada franja en la parcela de muestreo.

Posteriormente, con los datos por hectárea se procedió a realizar los cálculos descritos en la metodología de cuantificación, pero esta vez para la parcela en estudio.

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 ¿VAN A TENER ÉXITO ESTOS PROYECTOS?**

Esta es la pregunta que con mayor frecuencia se hace y que con mayor impaciencia se espera una respuesta. A partir de 1997 se han dado cambios grandes en el ámbito mundial que han puesto de manifiesto la necesidad de tomar en cuenta el ambiente. Se empezó con la detección de un hoyo en la capa de ozono, ahora tres años más tarde se ha determinado la existencia de tres hoyos, uno esta cerca de Europa, el otro ya afecta a los países del cono sur, principalmente a Chile y Argentina.

Todos estos cambios han hecho que algunos gobiernos comiencen a dictar normas prohibitivas, así en Italia existen zonas en las cuales se ha prohibido el transporte vehicular los fines de semana, en Chile se pide no exponerse al sol en las temporadas de verano entre las once de la mañana y las tres de la tarde como medida de precaución ante el cáncer de la piel. Este tipo de acciones crearán, cada vez, más presión social hacia los organismos encargados de regular las normas ambientales.

Por otro lado, la mayoría de organismos internacionales están pidiendo que se incluya la parte ambiental en los proyectos, los mismos consumidores dan preferencia a aquellos productos que sean amigables al ambiente. Poco a poco se está creando una cultura de protección que va más allá de una ley y se está convirtiendo en una forma o estilo de vida.

A medida que estos cambios se incrementen y que el mercado exija proyectos amigables al ambiente, los proyectos de mitigación del cambio climático (PMCC) tendrán mayor éxito, demanda y a la vez un efecto multiplicador dentro y fuera del país anfitrión.

Los cambios dados a nivel mundial, regional y local crean oportunidades grandes para que Honduras entre al mercado internacional de PMCC y obtenga ingresos adicionales. Lo importante en este momento es desarrollar en el país las condiciones óptimas para este tipo de proyectos. El tiempo es el factor limitante, se espera que para el 2002 se comiencen a negociar los primeros proyectos, Honduras debe estar listo para competir en un mercado, que en sus inicios tendrá pocos participantes.

### **4.2 ¿DE DÓNDE NACE ESTA INICIATIVA?**

El incremento de la pobreza y las altas tasas de endeudamiento en los países en desarrollo han hecho que los gobiernos comiencen a generar mecanismos alternativos que permitan generar ingresos adicionales ante la crisis existente. Una de éstas alternativas la constituyen los PMCC.

Los PMCC son adoptados dentro de los MDL y surgen como una alternativa económicamente rentable para los países desarrollados y como un mecanismo de desarrollo y ayuda para los países en vías de desarrollo. Dichos proyectos generan ingresos adicionales que dinamizan la economía del país receptor y a la vez permiten cumplir con los compromisos adquiridos, al firmar el protocolo de Kioto, por los países industrializados.

Brasil es el país que propone ante la comunidad internacional implementar dichos proyectos en países en vías de desarrollo, vendiendo la idea de la mejor forma, los costos de implementación son menores en países con economías en crisis. La idea es bien vista y luego de ser estudiada entra a una fase de prueba la cual culmina el año 2000.

Costa Rica es el pionero en este campo y se va convirtiendo poco a poco en el ejemplo a seguir en América. Al ver el éxito obtenido, los demás países entran en una fase de cambios y readecuaciones que les permitan, en el mediano y largo plazo, entrar en el mercado de negociación e implementación de proyectos. Se debe aclarar que muchos de éstos países toman el modelo costarricense y lo colocan en sus países sin darse cuenta de las marcadas diferencias existentes.

Costa Rica es el país que empieza con la fase piloto con PMCC, esta experiencia ha servido para que el resto de países centroamericanos aprendan, observen y analicen los aciertos y falencias que se han tenido en los proyectos.

Honduras tiene una ventaja comparativa grande, a raíz del huracán Mitch la comunidad internacional conoce al país y está dispuesta a invertir en él para financiar su reconstrucción. La entrada de nuevas fuentes de financiamiento extranjero permitirá reactivar el sector forestal del país así como desarrollar trabajos de investigación e innovación al recibir nuevas tecnologías. La entrada de divisas tendrá un efecto multiplicador en la economía y ayudará al desarrollo de otros sectores.

#### **4.3 EL MARCO LEGAL.**

El Marco Legal existente es una mezcla de varias leyes que han sido creadas en diferentes años bajo diferentes corrientes de pensamiento y políticas que dan como resultado un marco poco flexible y en ciertos aspectos inconsistente con la realidad del país y la dinámica internacional.

Las leyes fueron creadas con ninguna o poca participación de los actores lo que provocó apatía por las resoluciones tomadas, tal es el caso de la nueva ley forestal de Honduras. Actualmente dicha ley esta siendo reformada con base en foros abiertos con la comunidad y con actores influyentes en el área.

En Honduras, al igual que en otros países de Centro América, está adaptando la reglamentación del modelo utilizado por Costa Rica en materia ambiental, lastimosamente este país tiene una realidad muy diferente, cuenta con un sistema legal establecido muy flexible que permite adaptarse a los cambios que se dan en el ámbito internacional. La reglamentación está en constante cambio, claro, sin dejar de base los principios que tiene el país.

Una reglamentación adecuada es necesaria y urgente en este momento, tal vez es el punto clave y se convierta en el determinante más grande para que Honduras pueda comercializar a nivel internacional los PMCC. Se debe recordar que el marco legal establecido adecuadamente dará al país mayor credibilidad internacional, reducirá las falsas expectativas en los sectores y permitirá al país entrar al mercado con pocos competidores grandes.

Además, para la colocación potencial de valores en la bolsa internacional, las empresas y los negocios requieren de algún tipo de garantía del gobierno del país emisor, oponiéndose al diseño de política económica que ha estado desarrollando Honduras durante la década de los noventas.

Este trabajo no es nada fácil y debe surgir como un movimiento interno, lastimosamente la cultura institucional e interna del país es una limitante grande. No existe un compromiso decidido de hacer bien las cosas, tan solo existe la esperanza de que un organismo internacional o un país amigo comience con el trabajo y *ayude* al desarrollo.

La buena reglamentación ha permitido a Costa Rica firmar proyectos con gobiernos de: Alemania, Canadá, Suecia y Noruega, basados únicamente en “*buenas intenciones*”, en donde se denota la gran credibilidad y confianza con que goza el país en el ámbito mundial.

#### **4.4 LA OFICINA DE IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA DE HONDURAS (OICH).**

La finalidad principal de este organismo es el introducir mecanismos financieros y tecnológicos que permitan reducir la emisión de GEI, teniendo como objetivo principal el establecer los criterios de aceptabilidad (definidos como los requerimientos que el proyecto tiene para ser aceptado), así como promover y dar seguimiento técnico a dichos proyectos.

La OICH es el enlace entre Honduras y los inversionistas internacionales, es el ente encargado de la negociación internacional y el representante oficial de Honduras ante el mundo en materia de los Mecanismos para un Desarrollo Limpio.

Esta oficina cuenta en su consejo directivo conformado por representantes de varios sectores de la sociedad (gobierno, ONG's, educación y sociedad civil) con ello se pretende dar participación a toda la comunidad en la toma de decisiones. Es una institución autónoma y descentralizada, esta medida fue tomada para evitar el matiz político en la designación de cargos e intereses de grupos de poder.

El presidente de la junta directiva de la OICH es el representante de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. Al ser aprobados los proyectos y tener la firma del representante del gobierno (presidente de la junta directiva), Honduras adquiere un compromiso internacional, siendo responsable de la existencia y cumplimiento del proyecto ante el inversor internacional.

La OICH comenzó sus labores el año dos mil, actualmente se encuentra dando los primeros pasos en materia de criterios de aceptabilidad, promoción, cartera de proyectos e implementación de proyectos y resulta corto el tiempo para hacer una evaluación de su funcionamiento.

Actualmente, la oficina es un ente que tiene un respaldo de la SERNA y de otras instancias además de su marco legal establecido dentro del país. No existe una institución u organización que coordine las actividades y proyectos en las diferentes regiones de Honduras. Esta es una diferencia marcada, los costarricenses poseen FONAFIFO que es una dependencia descentralizada del Ministerio del Ambiente encargada de elegir proyectos, controlarlos y remitir aquellos proyectos que reúnen las características necesarias para la negociación internacional a la OIC costarricense.

Así mismo, FONAFIFO se encarga de analizar propuestas presentadas por pequeños terratenientes, reunir varios proyectos pequeños y presentarlos como un solo proyecto grande, el mismo que puede ser negociado con relativa facilidad en el exterior.

Los propietarios de los terrenos ceden sus derechos al Estado y reciben un monto de dinero como pago por servicios ambientales. Los proyectos tienen límites de tiempo, en el caso de protección el tiempo mínimo exigido es de 5 años, en el caso de manejo de bosques es 10 años y en el caso de reforestación es 15 años. Este mecanismo sirve para asegurar permanencia del



área boscosa en el campo. Los pagos hechos a los propietarios son anuales de acuerdo a lo estipulado en el contrato.

Una vez terminado el tiempo estipulado en el contrato, los propietarios pueden presentar un nuevo proyecto sin tener las posibilidades de renovar el anterior proyecto.

El mecanismo anteriormente mencionado da mayor dinamismo al sistema, delimitando las actividades de campo a FONAFIFO y las actividades de reglamentación y negociación a la OIC costarricense.

Se pretende en el corto plazo crear el Fondo Nacional de Carbono en Honduras, organismo que tendrá la función muy similar a la que realiza FONAFIFO en el caso de Costa Rica.

#### **4.5 BUENA MERCADOTÉCNIA.**

Como cualquier otro producto o servicio, los proyectos de secuestro de carbono deben ser publicitados internacionalmente. Es necesario dar a conocer con lo que cuenta Honduras y las posibilidades que este país brinda para este tipo de inversiones, lo que se está haciendo y los planes que se tienen en mente.

Honduras en este momento ha lanzando una campaña publicitaria en el ámbito internacional, actualmente la OICH ha informado a todas las embajadas y consulados de la existencia de la oficina, así como de la cartera de proyectos (proyectos potenciales de mitigación del cambio climático).

Por otro lado se está diseñando discos compactos y artículos publicitarios que permitan dar a conocer las posibilidades que Honduras brinda al mundo. Este material será repartido entre los organismos y representantes mundiales claves en el ámbito ambiental y climático.

Otro mecanismo de publicidad utilizado es la asistencia de representantes de la OICH a todos los eventos internacionales organizados por los organismos e instituciones directrices de política ambiental.

La mercadotécnica utilizada debe tener como objetivo el colocar a Honduras como la mejor alternativa para implementar proyectos de este tipo, generando alianzas fuertes entre inversores y representantes de proyectos, así como dar a conocer la posición del país con respecto a los cambios climáticos globales.

Lo que se debe buscar es crear una imagen sólida de Honduras en el exterior, dando a conocer las posibilidades de inversión existentes así como las facilidades que como país ofrece.

#### **4.6 UNA ESTANDARIZACIÓN DE TÉRMINOS Y PROCEDIMIENTOS.**

Hasta el momento no existen procedimientos establecidos, ni siquiera se sabe si los proyectos forestales están contemplados en su totalidad en los MDL. No existe la reglamentación internacional que permita a los países tener directrices políticas para la implementación, control, manejo y comercialización de proyectos. Se pretende que en noviembre del 2000 en la reunión de La Haya se defina esta reglamentación.

Por su parte, los especialistas del Panel Intergubernamental del Cambio Climático se han visto en la necesidad de estandarizar términos en materia de los PMCC. Por lo general, los técnicos

definen un área como reforestada o deforestada dando una definición subjetiva a estos términos, ¿qué quiere decir esto?.

No existe una estandarización en materia de cuantificación que permitan definir qué porcentaje de una parcela debe estar cubierta con vegetación arbórea para ser considerada como reforestada, de igual manera ocurre para la deforestación. Se debe aclarar que la definición de niveles mínimos y máximos van a depender del tipo de ecosistema en el que se encuentre el proyecto y de las características de la zona, siendo necesario un estudio severo de estas áreas que permitan caracterizar y elaborar mapas de usos actuales y potenciales de las tierras basados en sistemas conocidos, como es el caso de la caracterización de ecosistemas de Holdridge.

Se hace necesario conocer las características del país, los sistemas predominantes, el tipo de vegetación predominante y los procedimientos que están siendo usados en las regiones. Es necesario incrementar la investigación en estas áreas bajo el manto del Protocolo de Kioto, el mismo que tiene como uno de sus objetivos la transferencia de conocimientos y tecnología hacia los países anfitriones de proyectos.

Sería de mucha utilidad elaborar mapas zonificados de Honduras con base en tipos de cobertura forestal, tipos de suelo que posean fórmulas establecidas para el cálculo de biomasa por región y especie.

La IPCC ha establecido normas generales que todo proyecto debe cumplir las mismas que han sido detalladas en apartados anteriores del presente trabajo, los criterios de aceptabilidad deben ser definidos por la OIC, basados en criterios internacionales y la realidad de cada país. Los procedimientos de campo para calcular y desarrollar el proyecto en sí van a depender de los conocimientos y talento que tenga el técnico. Aún no existe una receta en este campo y es difícil que pueda aparecer puesto que los sistemas forestales son muy diversos y cambian de una región a otra.

#### **4.7 ¿POR QUÉ TOMAR EN CUENTA LOS BOSQUES PRIMARIOS?.**

La comunidad científica está dividida, una parte considera que los bosques naturales deben ser incluidos como PMCC mientras otra parte considera que estos ecosistemas tienen un crecimiento nulo y por lo tanto no pueden ser considerados aceptados como proyectos. Aún la controversia persiste.

En el presente documento no se pretende dar una solución al respecto, sin embargo se cita un estudio realizado por Brown y Lugo (1980) en el que se menciona que existe 1.5 mg de materia orgánica disuelta por litro de agua que se produce, de esta forma los ecosistemas “estables” exportan hacia otro tipo de ecosistemas, esto sucede principalmente en bosques húmedos.

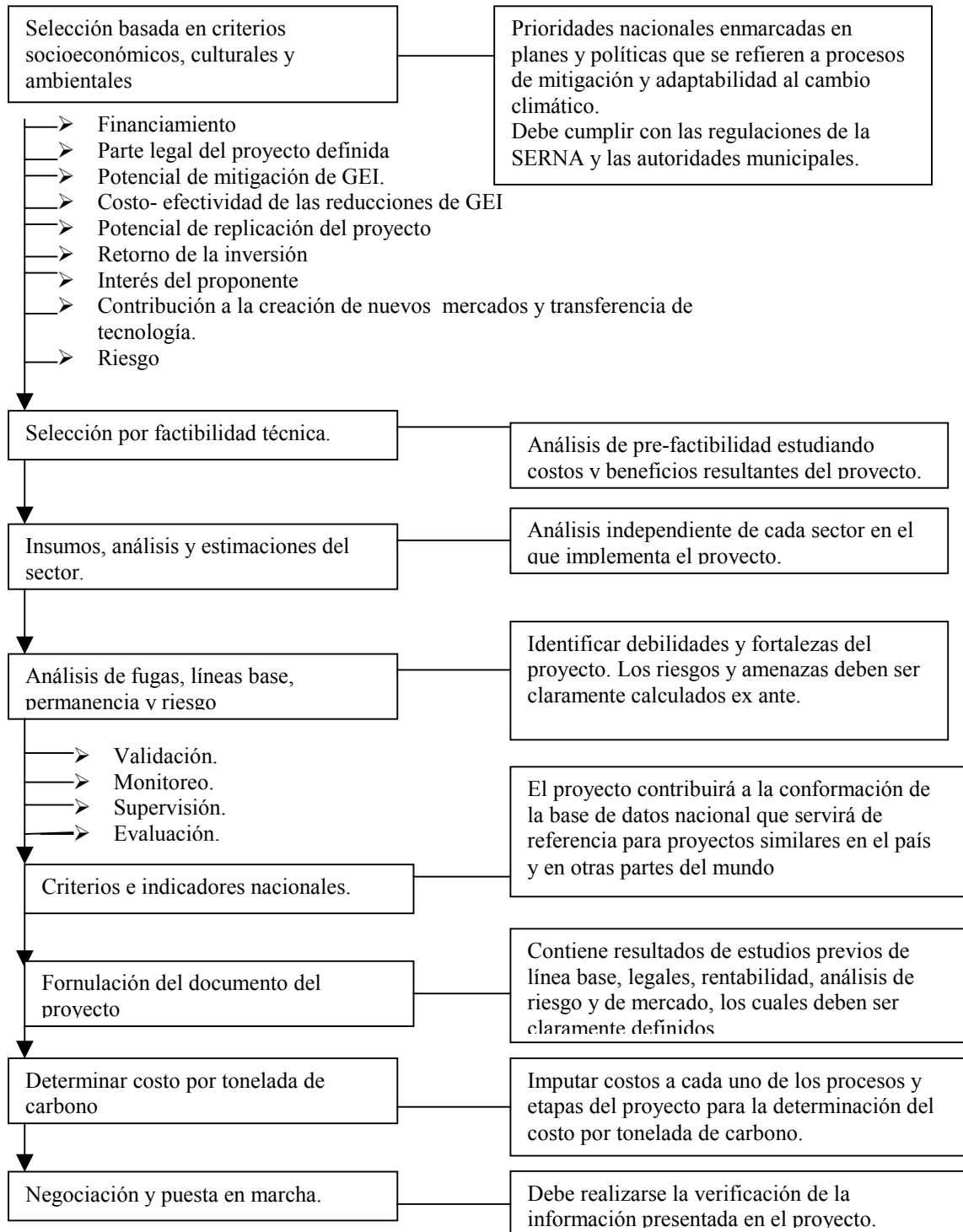
Se debe recordar que según la teoría de sistemas, el sistema forestal no está aislado sino que se encuentra inmerso en un ambiente en donde las múltiples interacciones hacen que existan entradas, salidas y fugas. La materia orgánica que sale de los ecosistemas forestales puede ser considerada como una exportación del sistema y no como una fuga, sirviendo de base para el establecimiento de otros ecosistemas acuáticos y terrestres.

Desde esta óptica, los bosques naturales siguen siendo estables pero para permanecer en clímax deben producir lo que exportan.

Es importante para Honduras que se tome en cuenta los bosques primarios dentro de los PMCC pues 5.989.600 ha están cubiertas por bosque primario y/o secundario, tan solo 3.250 ha corresponden a plantaciones de coníferas, de otra manera la superficie potencial para proyectos sería tan solo el 0,05 % del total.

#### 4.8 EL PROCESO DE GENERACIÓN Y ELEGIBILIDAD DE PROYECTOS

La OICH en el año 2000 ha generado los requerimientos para la elegibilidad de proyectos de mitigación del cambio climático (Figura 5).

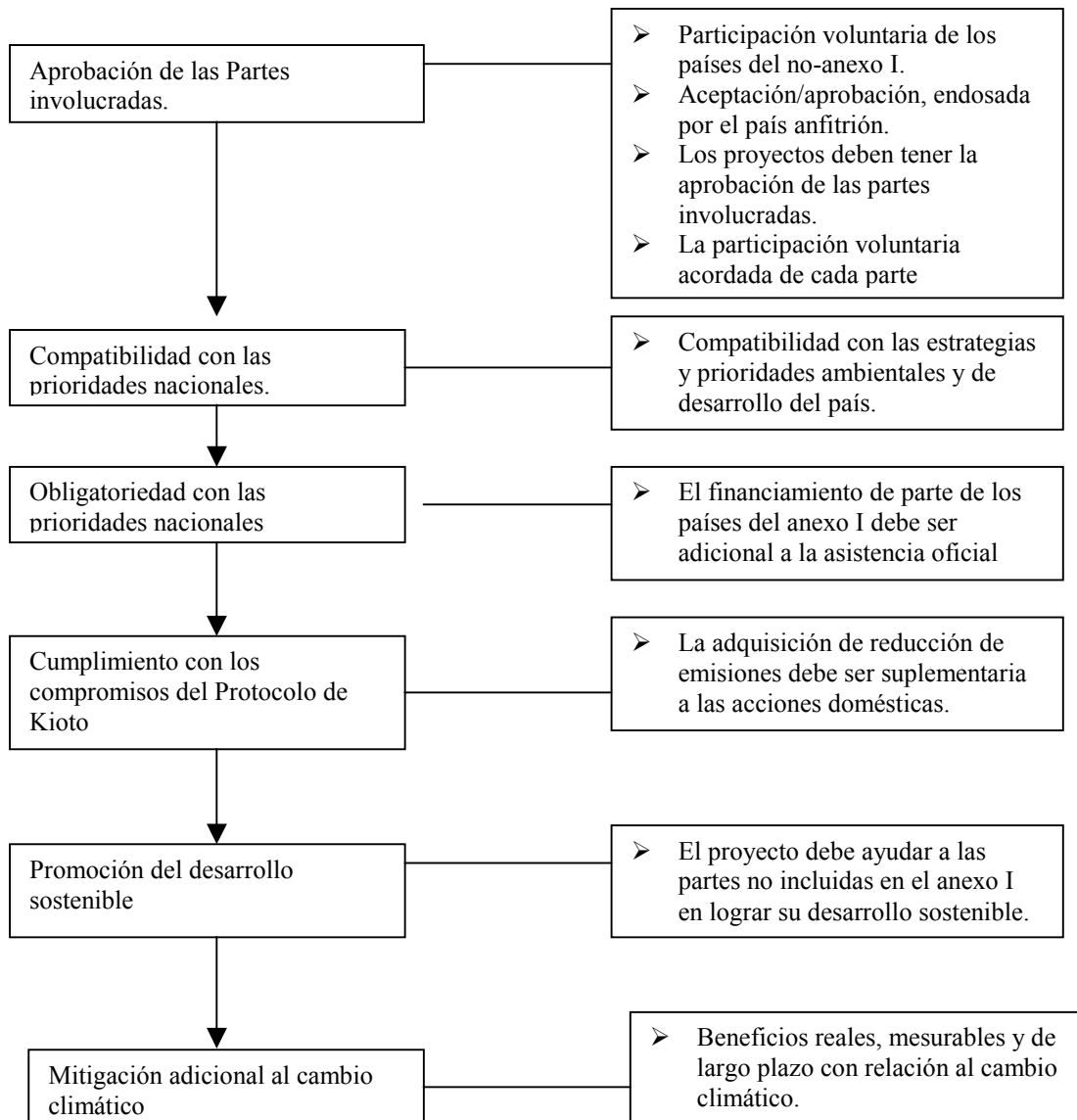


**Figura 5.** Criterios de generación y elegibilidad de proyectos de Mitigación del Cambio Climático en Honduras (OICH, 2000).

Los PMCC deben tener como ejes prioritarios la protección y mejoramiento de la biodiversidad y la calidad de suelos, agua y bosque, así como ser rentables, factibles y no afectar a las comunidades que se encuentren en el área del proyecto. En cuanto a adaptación a la vulnerabilidad se refiere, el Plan Maestro de Reconstrucción Nacional proporciona insumos prácticos.

#### 4.9 LOS CRITERIOS DE VERIFICACIÓN DE PROYECTOS.

Los criterios de verificación consisten en la información documental del proyecto y son mencionados en la figura 6.



**Figura 6.** Criterios de verificación de proyectos de mitigación del cambio climático en Honduras (OICH, 2000).

En la etapa de verificación se revisa la información presentada en el proyecto tomando como base los criterios anteriormente mencionados.

#### 4.10 FORMATO PRELIMINAR DE CONTENIDO DEL DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO.

El formato propuesto para los proyectos es mencionado en la figura 7.

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Título del proyecto.</b></li> <li>➤ <b>País</b></li> <li>➤ <b>Breve descripción del proyecto</b></li> <li>➤ <b>Entes participantes.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Nombre de la entidad</b><br/>Dirección<br/>Teléfono, fax, e-mail</li> <li>✓ <b>Nombre del responsable oficial del proyecto.</b><br/>Cargo o posición<br/>Dirección<br/>Teléfono, fax, e-mail</li> </ul> </li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Descripción de las actividades del proyecto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Tipo de proyecto</b></li> <li>✓ <b>Sector</b></li> <li>✓ <b>Actividad (es) Primaria (s)</b></li> <li>✓ <b>Localización del proyecto</b></li> </ul> </li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Estado del proyecto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comienzo del proyecto</li> <li>✓ Finalización del proyecto</li> <li>✓ Tiempo de vida útil del proyecto</li> </ul> </li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Descripción técnica general del proyecto.</b></li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Costo total del proyecto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Detalle de la metodología para el cálculo del costo del proyecto.</li> <li>✓ Costo de desarrollo del proyecto.</li> <li>✓ Costo de la ejecución del proyecto</li> </ul> </li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Monitoreo de las actividades del proyecto.</b></li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Verificación de las actividades y resultados del proyecto.</b></li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Compatibilidad con las prioridades y estrategias nacionales de desarrollo socioeconómico y ambientales.</b></li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Impacto ambiental, sociocultural y económico del proyecto.</b></li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Determinación del impacto de los GEI y el proyecto.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Descripción del escenario.</li> <li>✓ Metodología de cálculo de la reducción/secuestro</li> </ul> </li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Fuente de financiamiento del proyecto.</b></li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>La contribución a la capacidad institucional y transferencia de tecnología del</b></li> </ul>   |

**Figura 7.** Formato preliminar del contenido del proyecto de mitigación del cambio climático.

#### **4.11 LAS FUGAS.**

Las fugas se han convertido en el dolor de cabeza de los analistas de proyectos. El ejemplo más cercano se dio en el Parque Noel Kempff, (Bolivia) en donde la cobertura forestal en el área del proyecto incrementó de manera prevista, los pobladores del Parque fueron reubicados fuera del área del proyecto.

En términos de contabilidad de secuestro de carbono el proyecto estaba cumpliendo con los estimados hechos en la planificación del mismo, pero no se estaba contabilizando las emisiones que estaban produciendo los pobladores del Parque reubicados.

En este caso el proyecto no está produciendo ninguna adicionalidad, pues el efecto positivo del proyecto en sí está siendo aplacado por las fugas existentes. Aquí se ve la necesidad de que el proyecto sea integral en todo sentido y que las fases de cuantificación, reporte, monitoreo, verificación y supervisión sean diseñadas de tal manera que expliquen exactamente como se va a prevenir y aplacar este tipo de situaciones.

La OICH juega un papel importante, es el organismo encargado de dictar los criterios de elegibilidad y dar a conocer las bases sobre las cuales se guiarán este tipo de proyectos. De igual manera deberá velar por la ejecución y el cumplimiento de los volúmenes estipulados de carbono secuestrado.

#### **4.12 ¿ QUE TAN COSTOSO RESULTA EL PROCESO?.**

En la actualidad se están realizando en Costa Rica varios trabajos que permitan determinar el verdadero costo por hectárea de cada una de las fases dentro de los PMCC. En base con la experiencia costarricense se calcula un costo de \$ 60,000 por certificación y costos fijos totales de aproximadamente 1 millón de dólares por proyecto.<sup>10</sup> Esta cifra hace que los proyectos no sean accesibles a cualquier empresa o compañía.

Se pretende establecer y fijar tarifas de certificación que permitan a los proyectos ser competitivos. Este es otro tema que debe ser discutido a profundidad. Por otro lado, debe considerarse el costo del seguro internacional que permita asegurar el proyecto ante desastres naturales y riesgos presentes en la zona de implementación, así como los costos variables del manejo del área del proyecto.

#### **4.13 LA METODOLOGÍA PROPUESTA.**

En el presente trabajo se planea utilizar la metodología aprobada por la IPCC para proyectos de mitigación del cambio climático basada en los planes de manejo. Se considera al plan de manejo como una herramienta muy útil para este fin, recoge y ordena la información de campo necesaria para cuantificar la realidad del proyecto así como los cambios que se van dando en el área.

El plan de manejo resulta muy práctico para fines de cuantificación, es una herramienta que ha sido utilizada por varios años y no existe inconvenientes en ponerla en práctica en el campo.

---

<sup>10</sup> Alpizar W. 2000. La Oficina de Implementación Conjunta y los proyectos forestales. San José. *Com Per.*

Por otro lado este instrumento está legalmente establecido y según la ley toda área bajo manejo forestal debe tener un plan de manejo. La duración del mismo es de cuatro años y debe ser renovado una vez que termine su ciclo.

Los pasos que se sugiere seguir son los presentados en la figura 3 del presente documento.

#### 4.14 LA BIOMASA DEL FUSTE SIN CORTEZA DE LA ZONA.

En los planes de manejo forestal y en los proyectos con fines comerciales de madera se usan datos de volumen del fuste sin corteza.

**Cuadro 10.** Estimación del volumen promedio del fuste sin corteza de *Pinus oocarpa* para parcelas establecidas en Uyuca.

| Edad<br>Años | Prom<br>Alt (m) | Prom<br>DAP cc (cm) | Prom<br>DAP sc (cm) | Prom<br>Vol (m3) | N/ha<br>Prom | Vol Prom<br>(m3/ha) |
|--------------|-----------------|---------------------|---------------------|------------------|--------------|---------------------|
| 9.7          | 8.4500          | 9.7750              | 7.2891              | 0.0235           | 2,315        | 54.3757             |
| 11.7         | 11.1500         | 12.6750             | 9.6207              | 0.0508           | 1,679        | 85.2649             |
| 13.7         | 13.0250         | 14.4500             | 11.0478             | 0.0764           | 1,584        | 121.0485            |
| 15.7         | 14.1000         | 15.6000             | 11.9724             | 0.0956           | 1,576        | 150.7330            |
| 18.8         | 16.3500         | 17.3000             | 13.3392             | 0.1353           | 1,474        | 199.3948            |
| 21.7         | 17.9000         | 18.3750             | 14.2035             | 0.1661           | 1,362        | 226.3084            |
| 23.7         | 18.8250         | 18.9500             | 14.6658             | 0.1853           | 1,333        | 247.0094            |
| 26.2         | 19.3000         | 19.9750             | 15.4899             | 0.2091           | 1,226        | 256.4040            |
| 28.7         | 20.4000         | 21.1500             | 16.4346             | 0.2458           | 1,170        | 287.7860            |
| 30.9         | 21.2250         | 22.1250             | 17.2185             | 0.2784           | 997          | 277.8523            |

Sc = sin corteza.

Cc = con corteza.

N/ha = número de árboles por hectárea.

Prom = promedio.

Se observa en el cuadro 10 que existe una relación inversa entre edad y número de árboles por hectárea y el volumen promedio por hectárea. La relación existente entre el promedio de altura y el promedio de DAP es directa.

Las densidades promedio iniciales, a los 9.7 años, son altas (2315 árboles/ha) siendo necesario aplicar raleos para fines comerciales, Reyes (1993) recomienda que esta edad se debe trabajar con una densidad que va entre 1000 y 1200 árboles/ha, dependiendo de la calidad del sitio y de la zona en la que se encuentre la plantación. A los 30.9 años de edad la plantación se tiene una densidad promedio final de 998 árboles/ha, representando el 43.11% de la densidad inicial, dicha densidad es muy alta, se puede observar que el volumen final de 277 m3/ha es muy bueno pero debería ser alcanzado con una densidad menor de árboles, en varios estudios se habla que debe existir entre 450 y 600 árboles/ha a esta edad, una densidad de 54,9 a 39,89% menor de la existente.

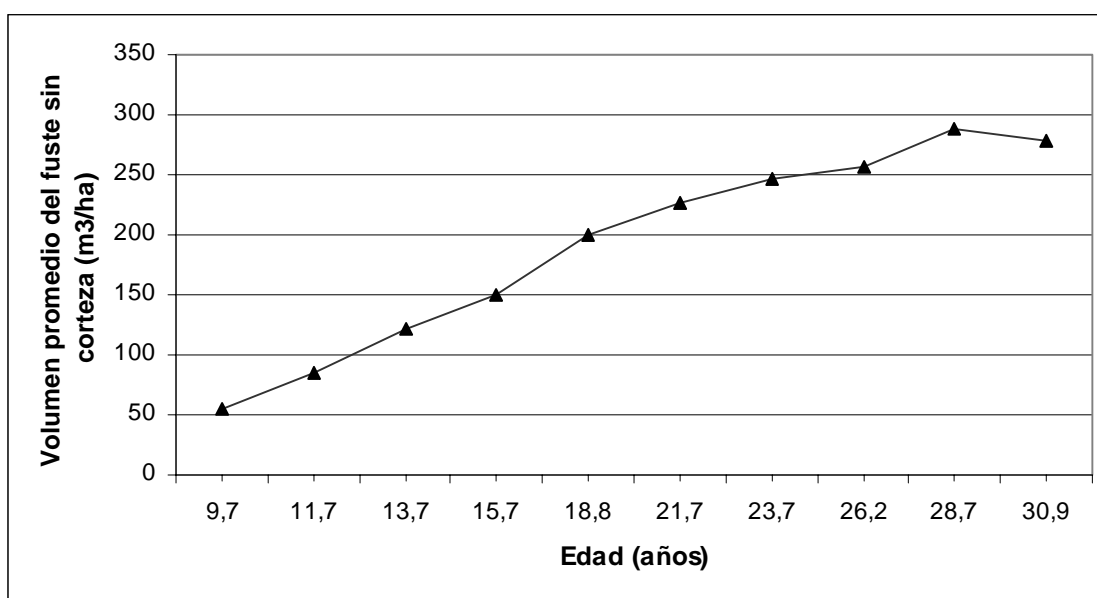
Con densidades altas, los árboles pierden su forma, por la excesiva competencia tienden a crecer en altura y no en grosor, árboles con fustes delgados tienen poco mercado. La altura promedio representa un incremento del 151% de la altura inicial, mientras que el DAP representa un incremento del 126% en relación con el DAP inicial. Se observa que el incremento en altura es mayor que en ancho del fuste, este hecho puede deberse a la competencia inicial de los árboles, lo que hace que crezcan más sacrificando el incremento en grosor.

En las parcelas establecidas, en promedio, se puede decir que el 59.61% del fuste es madera y que el 40.39% es corteza, estos datos no concuerdan con los presentados por Ferreira y Mat3n3z (1998) pero s3 con los datos presentados por CEMAPIF (1999). Se debe aclarar que el valor presentado es un promedio sacado en relaci3n con el volumen medido en los a3os citados. Los promedios del volumen por 3rbol son bajos pudiendo representar las condiciones pobres del sitio o la excesiva competencia por espacio y nutrientes entre los individuos, se esperaba que a edad de 30 a3os los 3rboles tengan vol3menes cercanos a un metro c3bico.

Los incrementos en volumen totales del fuste sin corteza en parcelas establecidas ( $m^3/ha$ ) son decrecientes a medida que la plantaci3n incrementa en edad, entre los a3os 23.7 y 26.2 en promedio existe un incremento en volumen del orden del 3.8%, mientras que entre los a3os 26.2 y 28.7 el incremento es de 12.24%, al final del per3odo se da un decremento del orden del 3.45% y esto se debe principalmente a raleos y extracci3n de madera realizados en el 3rea.

En parcelas establecidas, en promedio el volumen en  $m^3$  del fuste sin corteza es de  $0.1467 \pm 0.085$ . Acumulando en los 21 a3os  $0.2549 m^3$  por 3rbol, con un 3ndice de crecimiento medio anual de  $0.012 m^3$ . Es muy importante el tomar en cuenta el factor de acumulaci3n de biomasa sobre el suelo pues de este depende la cantidad de carbono secuestrado en el campo.

En promedio se obtiene  $190.62 \pm 83 m^3/ha$  con un incremento en el volumen de  $223.48 m^3/ha$  en los 21 a3os, increment3ndose el volumen, en promedio,  $10.54 m^3$  por hect3rea por a3o.



**Figura 8.** Curva de acumulaci3n de biomasa en el fuste sin corteza de *Pinus oocarpa* para parcelas establecidas.

En la figura ocho se puede observar que la tendencia del crecimiento entre los a3os 9.7 y 23.7 a3os es lineal, teniendo ciertas variaciones en su trayectoria, al llegar a los 28.7 el incremento en el volumen promedio sin corteza se detiene y comienza su descenso, como se explic3 anteriormente, este hecho se pudo deber a la disminuci3n en n3mero de 3rboles promedio y el poco incremento existente en el volumen promedio.

Se observa en la curva que no existieron intervenciones fuertes en la biomasa, la l3nea tiene una tendencia incremental continua.



**Cuadro 11.** Estimación del volumen promedio del fuste sin corteza de *Pinus oocarpa* para parcelas naturales en Uyuca.

| Edad (años) | Alt Prom (m) | Prom DAP cc (cm) | Prom DAP sc (cm) | Prom Vol sc (m <sup>3</sup> ) | N/ha Prom | Vol sc Prom m <sup>3</sup> /ha |
|-------------|--------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------------|
| 18.0        | 8.950        | 9.525            | 7.944            | 0.133                         | 786       | 104.700                        |
| 20.0        | 12.200       | 12.350           | 10.278           | 0.167                         | 768       | 128.412                        |
| 23.0        | 12.425       | 13.550           | 11.292           | 0.210                         | 678       | 142.827                        |
| 24.8        | 14.225       | 15.550           | 12.982           | 0.265                         | 658       | 174.393                        |
| 27.2        | 15.475       | 16.825           | 14.060           | 0.328                         | 529       | 173.670                        |
| 29.2        | 13.650       | 15.300           | 12.771           | 0.324                         | 522       | 169.253                        |
| 31.7        | 17.350       | 20.425           | 17.102           | 0.495                         | 458       | 227.139                        |
| 33.9        | 18.025       | 21.500           | 18.010           | 0.564                         | 451       | 254.274                        |

Sc = sin corteza.

Prom = promedio.

N/ha= número de árboles por hectárea.

Cc= con corteza.

Se observa en el cuadro 11 que existe la misma relación descrita en el cuadro 10. Las densidades promedio iniciales, a los 18 años, son menores (786 árboles/ha) en comparación con la densidad de las parcelas establecidas. A los 33 años de edad la plantación se tiene una densidad promedio final de 451.1 árboles/ha, siendo 54.8% menor que la encontrada en las parcelas naturales. La densidad final en éstas parcelas es 42.67% menor que la inicial (18 años), siendo aceptable de acuerdo con las condiciones del sitio.

En dichas parcelas fueron aplicados raleos que van desde el 16 hasta el 45% del número inicial de árboles/ha, como se observa en el cuadro 11 los volúmenes finales con muy similares a los obtenidos en los cálculos realizados en parcelas establecidas, la diferencia radica que en éstas parcelas los diámetros de los árboles son mayores, pudiendo ser comercializados con mayor facilidad.

La altura promedio representa un incremento del 101% de la altura inicial, mientras que el DAP representa un incremento del 125.7% en relación con el DAP inicial. Aunque las mediciones no fueron hechas los mismos años y las edades difieren entre las parcelas naturales y las establecidas, el porcentaje de incremento de DAP es similar. En este caso, se observa que el incremento en altura es menor que en ancho del fuste, este hecho puede deberse a que existe menor competencia entre los árboles, pues sus densidades son menores.

Con los datos anteriormente presentados se puede observar la importancia de la implementación de un plan de raleos que debe ser contemplado en cualquier plan de manejo forestal.

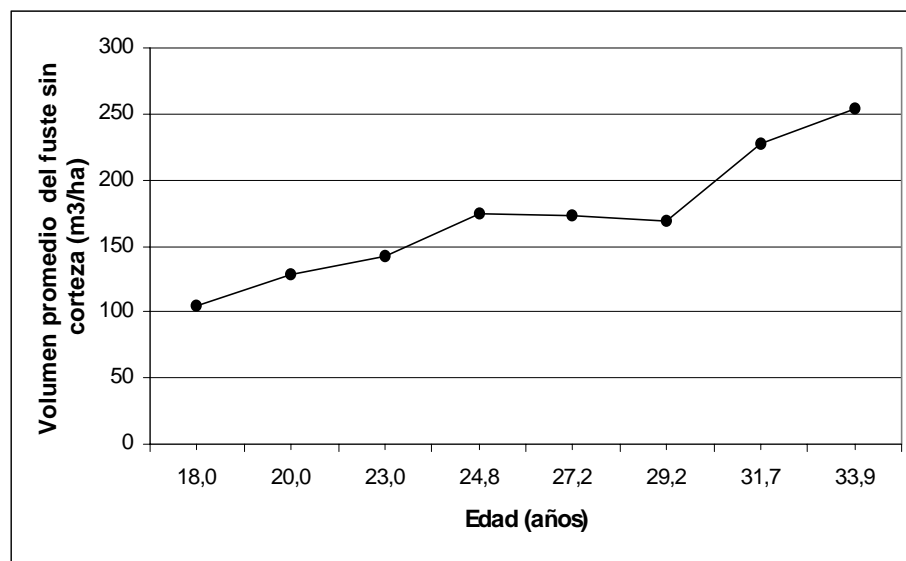
En promedio en la parcelas naturales, se puede decir que el 69.84% del fuste es madera y que el 30.15% es corteza, estos datos no concuerdan con los presentados por Ferreira y Martínez (1998) pero sí con los datos presentados por CEMAPIF (1999). El porcentaje varía de aquel obtenido en las parcelas establecidas, siendo un 26.28% menor.

Los incrementos en volumen totales (m<sup>3</sup>/ha) son decrecientes a medida que la plantación incrementa en edad, entre los años 29.2 y 31.7 en promedio existe un incremento en volumen del fuste sin corteza en parcelas naturales del orden del 34.2%, muy alto, mientras que entre los años 31.7 y 33.9 el incremento es de 11.94%. Se presume una extracción de madera de la zona en los años 27.2 y 29.2, como efecto de los raleos.

En parcelas naturales, el volumen del fuste sin corteza, en promedio, es de  $0.311 \pm 0.153 \text{ m}^3$ , acumulando  $0.431 \text{ m}^3$  en 16 años, con un crecimiento medio anual de  $0.027 \text{ m}^3$  por árbol.

El volumen promedio por hectárea es de  $171.84 \pm 49 \text{ m}^3/\text{ha}$ , acumulando  $149.574 \text{ m}^3/\text{ha}$  en los 16 años, con un incremento en volumen de  $9.407 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ . Los valores por hectárea son menores a los obtenidos en parcelas establecidas, pero si se comparan los valores por individuo se puede apreciar superioridad de las parcelas naturales.

Se denota de esta manera la importancia de dar un manejo adecuado a las parcelas, si se hace de una manera óptima, se podrán alcanzar volúmenes de biomasa mayores y con ellos una mayor cantidad de carbono secuestrado y almacenado en la vida útil del proyecto.



**Figura 9.** Curva de acumulación de biomasa en el fuste sin corteza de *Pinus oocarpa* para parcelas naturales.

En la figura 9 se puede observar que la tendencia del crecimiento entre los años 18 y 33.9 años es casi lineal, teniendo un crecimiento nulo y negativo en los años 27.7 y 29.2 respectivamente, como se explicó anteriormente, esta tendencia concuerda con épocas de extracción de madera en la zona, lo que redujo el volumen promedio por hectárea. El volumen promedio es aceptable según criterio técnico, demostrando la baja calidad de sitio (del orden de 1.9).

#### 4.15 LA BIOMASA DE LA CORTEZA DEL FUSTE EN LA ZONA.

Para fines de cuantificación de la capacidad de secuestro de carbono es necesario calcular la biomasa de la corteza, representando un buen porcentaje del total de la biomasa.

En el cuadro 12 se observa que los volúmenes de la corteza varían en promedio entre  $0.01$  y  $0.11 \text{ m}^3/\text{árbol}$  en parcelas establecidas, mientras que en parcelas naturales sometidas a raleos el volumen promedio está entre  $0.041$  y  $0.168 \text{ m}^3/\text{árbol}$ . El volumen de corteza es mayor en un 34% en parcelas naturales.

**Cuadro 12.** Estimación del volumen promedio de la corteza en *Pinus oocarpa* para parcelas naturales y establecidas en Uyuca.

| Parcelas establecidas |                          |                             | Parcelas naturales |                          |                             |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Edad<br>Años          | Vol corteza<br>prom (m3) | Vol corteza<br>Prom (m3/ha) | Edad<br>(años)     | Vol corteza<br>Prom (m3) | Vol corteza<br>Prom (m3/ha) |
| 9,7                   | 0,010                    | 24,084                      | 18,0               | 0,041                    | 31,881                      |
| 11,7                  | 0,022                    | 36,112                      | 20,0               | 0,051                    | 39,135                      |
| 13,7                  | 0,032                    | 50,246                      | 23,0               | 0,064                    | 43,212                      |
| 15,7                  | 0,039                    | 61,904                      | 24,8               | 0,080                    | 52,683                      |
| 18,8                  | 0,055                    | 80,788                      | 27,2               | 0,099                    | 52,286                      |
| 21,7                  | 0,067                    | 91,032                      | 29,2               | 0,097                    | 50,717                      |
| 23,7                  | 0,074                    | 99,005                      | 31,7               | 0,148                    | 67,895                      |
| 26,2                  | 0,083                    | 102,169                     | 33,9               | 0,168                    | 75,843                      |
| 28,7                  | 0,097                    | 113,971                     |                    |                          |                             |
| 30,9                  | 0,110                    | 109,518                     |                    |                          |                             |

Se = sin corteza.

N/ha= número de árboles por hectárea.

Prom = promedio.

Cc= con corteza

Los volúmenes de la corteza presentados en el cuadro 12 guardan relación directa con los presentados en el volumen del fuste sin corteza.

En parcelas establecidas el promedio del volumen de la corteza es de  $0.0589 \pm 0.033 \text{ m}^3$  por árbol, representando un volumen de  $76.883 \pm 31 \text{ m}^3/\text{ha}$ . En el caso de las parcelas naturales el volumen promedio de corteza por árbol es de  $0.094 \pm 0.045 \text{ m}^3$  con un volumen total de  $51.709 \pm 14 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

Al comparar los resultados obtenido, se ve que las parcelas naturales, al poseer un volumen mayor de biomasa, poseen un volumen mayor de corteza, pero si comparamos los volúmenes totales por hectárea las parcelas establecidas tienen un 48.68% más volumen de corteza. Esta diferencia se debe básicamente al número de árboles por hectárea.

Con el cuadro 12 se denota la influencia que tiene el manejo en la proporción de madera y corteza de las fustes, es importante establecer un buen plan de manejo que permita incrementar el volumen de madera y reducir la cantidad de corteza.

Se debe recordar que en los aserraderos la corteza es eliminada, significando una pérdida del carbono almacenado, reduciendo la eficiencia del proyecto. Si existe mayor proporción de madera el carbono contenido podría permanecer por más tiempo almacenado en la fibra, pues normalmente la madera es utilizada para la confección de muebles y otro tipo de usos.

#### 4.16 EL CAMBIO EN LA BIOMASA EN LA ZONA EN ESTUDIO.

Durante el ciclo productivo de un rodal se realizan varias intervenciones en las que se reduce el número de individuos por unidad de área, esta práctica tiene como fin el reducir la competencia interespecífica por espacio y nutrientes, así como reducir la incidencia de insectos que dañen el fuste. Algunos autores señalan que se deben realizar tres intervenciones en todo el ciclo del rodal, la primera intervención entre a los 8 o 10 años, la segunda a los 15 años y la tercera a los 25 años, dependiendo de la calidad del sitio y las condiciones de pendiente del terreno.

Reyes (1993) recomienda la utilización de tres raleos basados en la calidad del sitio, en el caso de Uyuca se podría pensar en cuatro raleos, esto permitiría que las intervenciones a la biomasa sean menos drásticas evitando de esta manera posibles daños por viento, pues se debe recordar que la zona es un cerro y tiene gran incidencia de vientos fuertes. Existen varias metodologías para calcular el número total de árboles a extraer.

**Cuadro 13.** Volumen extraído en parcelas establecidas en el cerro Uyuca.

| Edad (años) | N/ha Prom. | Vol. Fuste sc. Promedio (m3) | Vol. Corteza prom (m3) | Vol. Total (m3) | Vol total (m3/ha) | Liberación t C/ha |
|-------------|------------|------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 11.7        | 620        | 0.0068                       | 0.0035                 | 0.0103          | 6.3792            | 3.1896            |
| 13.7        | 92         | 0.0295                       | 0.0131                 | 0.0425          | 3.9219            | 1.9610            |
| 15.7        | 7          | 0.0249                       | 0.0113                 | 0.0361          | 0.2574            | 0.1287            |
| 18.8        | 93         | 0.0949                       | 0.0385                 | 0.1333          | 12.4355           | 6.2178            |
| 21.7        | 113        | 0.0922                       | 0.0382                 | 0.1305          | 14.7819           | 7.3910            |
| 23.7        | 29         | 0.1107                       | 0.0456                 | 0.1563          | 4.6219            | 2.3109            |
| 26.2        | 104        | 0.1223                       | 0.0500                 | 0.1723          | 17.9144           | 8.9572            |
| 28.7        | 59         | 0.1503                       | 0.0610                 | 0.2113          | 12.4758           | 6.2379            |
| 30.9        | 173        | 0.2174                       | 0.0867                 | 0.2027          | 35.0281           | 17.5140           |

Sc = sin corteza.

Cc= con corteza.

N/ha= número de árboles por hectárea.

Prom = promedio.

C= carbono

En el cuadro 13 se observa las intervenciones hechas a la biomasa de las parcelas establecidas, la primera de ellas es la más fuerte y elimina (620 árboles) el 26.78% de los individuos que inicialmente fueron establecidos dejando 1679 árboles/ha en sitios de calidad 3. Groothusen y Reyes en sus publicaciones han establecido que para éstas condiciones es aconsejable manejar entre 800 y 750 árboles/ha.

Las siguientes intervenciones no son tan drásticas y se elimina entre un 5 y 15% de la biomasa existente, llegando a una poblacional final de 997 individuos, la misma que es 140% mayor que la recomendada por Groothusen y Reyes para estas condiciones denotando un manejo poco adecuado para la zona.

En promedio, en las parcelas establecidas, se reportó un cambio de  $11.979 \pm 10.38$  m<sup>3</sup>/ha en los 21 años del ciclo, estos valores son mínimos. En parcelas con manejo los volúmenes extraídos deberían ser superiores, El cambio en la biomasa representa emisiones de  $5.98 \pm 5.19$  tC/ha en un período de 21 años.

En el cuadro 14 se puede determinar los cambios existentes en biomasa en las parcelas naturales, el volumen de extracción fue de  $21.485 \pm 23.21$  m<sup>3</sup>/ha en el ciclo de 16 años, este valor es superior al presentado en las parcelas establecidas denotando el régimen de raleos establecido en la zona.

El cambio en la biomasa, en las parcelas naturales, representó un incremento de  $10.74 \pm 11.1$  t C/ha emitidas, representando 79% más emisiones de las calculadas en las parcelas establecidas.

**Cuadro 14.** Volumen extraído en parcelas naturales en el cerro Uyuca.

| Edad (años) | N/ha Prom. | Vol. Fuste sc. Promedio (m3) | Vol. Corteza prom (m3) | Vol. Total (m3) | Vol total (m3/ha) | Liberación t C/ha |
|-------------|------------|------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 20,0        | 28         | 0,0971                       | 0,0301                 | 0,1273          | 3,5697            | 1,7848            |
| 23,0        | 89         | 0,1157                       | 0,0357                 | 0,1514          | 13,5090           | 6,7545            |
| 24,8        | 29         | 0,2212                       | 0,0671                 | 0,2883          | 8,6208            | 4,3104            |
| 27,2        | 194        | 0,1820                       | 0,0557                 | 0,2378          | 46,1371           | 23,0686           |
| 29,2        | 10         | 0,0881                       | 0,0273                 | 0,1155          | 1,1488            | 0,5744            |
| 31,7        | 64         | 0,7463                       | 0,2213                 | 0,9676          | 61,8282           | 30,9141           |
| 33,9        | 24         | 0,5085                       | 0,1519                 | 0,6604          | 15,5846           | 7,7923            |

Sc = sin corteza.

Cc= con corteza.

N/ha= número de árboles por hectárea.

Prom = promedio.

C= carbono

En el caso de las parcelas naturales las intervenciones realizadas fueron menos severas, tan solo en el año 27.2 de extrajo el 29.48% del total de individuos, las intervenciones anteriores y posteriores a este año fueron mínimas eliminando entre el 5 y el 11.3 %. Se debe mencionar que la densidad a los 18 años con la que se empieza es de 786 árboles la misma que es menor que la recomendada por Groothousen y Reyes para estas condiciones (1400 árboles/ha).

#### 4.17 EL POTENCIAL DE FIJACIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE LA ESPECIE *PINUS OOCARPA* EN UYUCA.

En el cuadro 15 se observa que existe un alto potencial de fijación y reducción de secuestro de carbono en *Pinus oocarpa* en la zona, la tasa de fijación más alta se presenta entre los 9.7 - 11.7 años de edad, llegando a secuestrar 18.6% más C por el incremento en la biomasa presentado. El potencial de secuestro va decreciendo a medida que la plantación crece en edad, así entre los años 26.2 y 28.7 años de edad, el incremento de secuestro es de 9.9%.

**Cuadro 15.** Potencial de fijación y secuestro de C en *Pinus oocarpa* en el cerro Uyuca para parcelas establecidas.

| Edad Años | Vol total prom (m3/ha) | Vol. Ajustado FEV (m3/ha) | Vol ajustado FEB (ms/ha) | C potencial t C/ha |
|-----------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|
| 9.7       | 78.4599                | 115.6776                  | 175.1137                 | 87.5569            |
| 11.7      | 121.3771               | 163.3560                  | 207.6653                 | 103.8326           |
| 13.7      | 171.2940               | 214.5226                  | 237.5871                 | 118.7935           |
| 15.7      | 212.6370               | 254.5336                  | 258.5314                 | 129.2657           |
| 18.8      | 280.1831               | 316.6069                  | 287.9600                 | 143.9800           |
| 21.7      | 317.3407               | 358.5950                  | 306.2313                 | 153.1157           |
| 23.7      | 346.0142               | 390.9960                  | 319.6011                 | 159.8006           |
| 26.2      | 358.5729               | 405.1874                  | 325.2799                 | 162.6399           |
| 28.7      | 401.7572               | 453.9856                  | 357.5137                 | 178.7568           |
| 30.9      | 387.3699               | 437.7280                  | 344.7108                 | 172.3554           |

Sc = sin corteza.

Cc= con corteza.

N/ha= número de árboles por hectárea.

Prom = promedio

FEV = factor de expansión de volumen.

FEB = factor de expansión de la biomasa

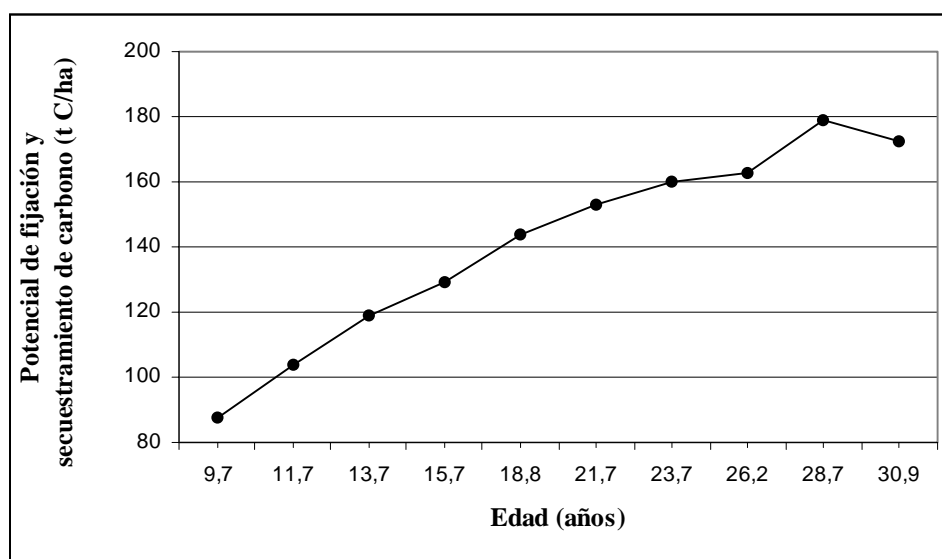
Los datos representan la biomasa total sobre el suelo incluyendo fuste, ramas, follaje y corteza, los cálculos fueron realizados por hectárea.

La tasa de incremento medio anual de volumen es de  $10.54 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  y representa una acumulación de C potencial del orden de  $4.0 \text{ t C}/\text{ha}/\text{año}$  a partir del año 9.7 hasta el año 30.9, la tasa de carbono fijado en *Pinus oocarpa* es menor que la presentada para *Pinus sp.* ( $4.6 \text{ t C}/\text{ha}/\text{año}$ ) presentado por Pratt y Rodriguez (1998).

La captura potencial de carbono promedio para las parcelas establecidas en la zona es de  $141.01 \text{ t C}/\text{ha}$  con una desviación estándar de  $\pm 30.28 \text{ t C}/\text{ha}$  y es similar a la obtenida para otras especies de pinos en estudios anteriores realizados en otros países, así *Pinus caribea* ( $145 \text{ t C}/\text{ha}$ ), *Pinus radiata* ( $136 \text{ t C}/\text{ha}$ ) (Ordóñez, 1999).

El volumen promedio ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) en parcelas establecidas es de  $190.62 \pm 83$ , dicho valor es mayor que el calculado en las parcelas naturales, esto se debe principalmente a la densidad final que poseen las parcelas. El volumen es bueno pero se tienen individuos delgados y altos que podrían no ser comercializados con facilidad.

Se puede ver en la figura 10, la tendencia incremental de secuestro y fijación potencial que existe en la especie, dicha tasa comienza a estabilizarse a los 26 años y llega a su punto máximo a los 30 años de edad. Se debe añadir que son datos tomados de parcelas establecidas que están bajo manejo y que reflejan la realidad de campo de la zona.



**Figura 10.** Curva potencial de fijación y secuestro de carbono en *Pinus oocarpa* parcelas establecidas de Uyuca.

Comparando los cuadros 15 y 16 se puede observar que las parcelas naturales poseen menor potencial de fijación y secuestro de carbono en *Pinus oocarpa* en la zona, tienen un incremento medio anual de biomasa de  $12.17 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  y una tasa potencial de fijación de carbono de  $2.98 \text{ t C}/\text{ha}/\text{año}$  entre los 18 y 33.9 años de edad, pudiendo deberse al manejo que se dio a las parcelas naturales dentro de la zona. La tasa promedio de captura potencial de carbono es de  $131.1256 \text{ t C}/\text{ha}/\text{año}$  con una desviación estándar de  $\pm 15.38 \text{ t C}/\text{ha}/\text{año}$ , la misma que es menor a la presentada en parcelas establecidas. El volumen promedio en  $\text{m}^3/\text{ha}$  es de  $171.83 \pm 49$ , valor menor al presentado por las parcelas naturales, debe recordarse que los árboles evaluados tienen mayor edad y por ende mayor volumen por individuo.

**Cuadro 16.** Potencial de fijación y secuestro de C en *Pinus oocarpa* en el cerro Uyuca para parcelas naturales.

| Edad Años | Vol total prom (m <sup>3</sup> /ha) | Vol. Ajustado FEV (m <sup>3</sup> /ha) | Vol ajustado FEB (ms/ha) | C potencial T C/ha |
|-----------|-------------------------------------|--|--------------------------|--------------------|
| 18,0      | 136,5812                            | 179,3400                               | 217,4661                 | 108,7331           |
| 20,0      | 167,5474                            | 210,8025                               | 235,5427                 | 117,7714           |
| 23,0      | 186,0387                            | 229,0019                               | 245,3780                 | 122,6890           |
| 24,8      | 227,0761                            | 268,1109                               | 265,2543                 | 132,6272           |
| 27,2      | 225,9561                            | 267,0644                               | 264,7424                 | 132,3712           |
| 29,2      | 219,9700                            | 261,4522                               | 261,9793                 | 130,9896           |
| 31,7      | 295,0335                            | 333,3878                               | 295,4012                 | 147,7006           |
| 33,9      | 330,1165                            | 373,0317                               | 312,2608                 | 156,1304           |

Sc = sin corteza.

Cc= con corteza.

N/ha= número de árboles por hectárea.

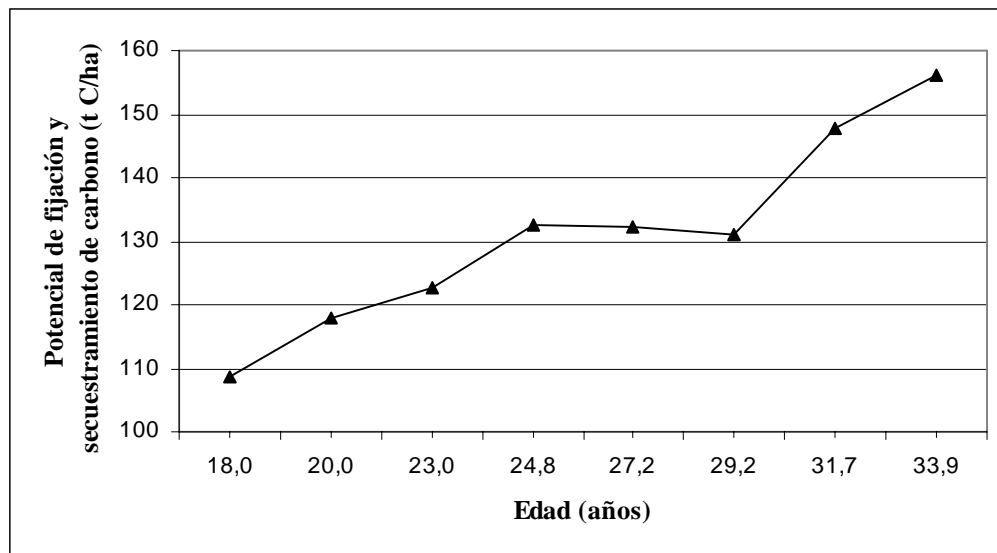
Prom = promedio.

FEV = factor de expansión de volumen.

FEB = factor de expansión de la biomasa

C= carbono.

En la figura 11 puede ser observada la tendencia de incremento de fijación y secuestro de carbono en *Pinus oocarpa* en parcelas naturales en el Uyuca. En el año 29 existe un decremento, debido a los raleos realizados en la zona en esos años.



**Figura 11.** Curva potencial de fijación y secuestro de carbono en *Pinus oocarpa* en parcelas naturales de Uyuca.

#### 4.18 EL POTENCIAL DE FIJACIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA FRANJA DE ESTUDIO.

Para el cálculo del potencial de fijación y reducción de emisiones se realizó el inventario forestal de la zona y se determinó la edad, altura y DAP dominantes en cada hectárea muestreada.

La especie predominante en esta franja es *Pinus oocarpa* existiendo pequeños parches de *Pinus maximinoi* por este motivo los cálculos realizados fueron hechos para la primera especie. Esta zona fue sometida a raleos en 1997 y luego fue modificada en su estructura y composición por el huracán Mitch.

Existen zonas que se hallan completamente descubiertas de árboles, otras que poseen un número reducido de individuos, esto se refleja en el número de árboles por hectárea presentado en el cuadro 17. La densidad por hectárea existente está entre 42 y 1875 árboles por hectárea y depende básicamente del estrato dominante. La mayoría de las zonas cubiertas por individuos maduros poseen una densidad baja y con una regeneración pobre.

**Cuadro 17.** Potencial de fijación y secuestro de C en *Pinus oocarpa* en el cerro Uyuca en la clase de manejo *P. oocarpar/ P. maximinoi*.

| Parcela      | TRT     | Edad prom<br>(años) | N/ha | (1)<br>Vol. Total<br>(m3/ha) | (2)<br>Vol. Total<br>(m3/ha) | (1)<br>t C/ha    | (2)<br>t C/ha    | Diferencia.<br>t de C/ha |
|--------------|---------|---------------------|------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| 1            | 3       | 30                  | 125  | 83.0250                      | 88.5895                      | 147.3619         | 151.1451         | 3.7832                   |
| 2            | 1, 2, 3 |                     | 1875 | 22.2867                      | 127.7613                     | 135.7879         | 220.5408         | 84.7529                  |
| 3            | 3       | 31                  | 292  | 195.1799                     | 204.5068                     | 224.6133         | 228.7479         | 4.1346                   |
| 4            | 1, 2, 3 |                     | 500  | 23.0137                      | 78.6780                      | 139.7156         | 173.6080         | 33.8924                  |
| 5            | 3       | 31                  | 583  | 182.1462                     | 213.8724                     | 234.8481         | 250.0554         | 15.2073                  |
| 6            | 3       | 26                  | 292  | 53.1717                      | 73.5577                      | 135.1311         | 153.4021         | 18.2710                  |
| 7            | 1, 3    |                     | 125  | 51.9857                      | 77.5986                      | 213.1061         | 172.4750         | -40.6311                 |
| 8            | 1, 2, 3 |                     | 250  | 20.0770                      | 47.5728                      | 124.7150         | 135.2748         | 10.5598                  |
| 9            | 1, 2, 3 |                     | 250  | 22.1250                      | 37.4444                      | 152.1145         | 120.4255         | -31.6890                 |
| 11           | 1, 2, 3 |                     | 125  | 6.8816                       | 13.4061                      | 84.5942          | 72.4983          | -12.0959                 |
| 13           | 1, 3    | 37                  | 375  | 128.9078                     | 159.6449                     | 346.5323         | 246.4198         | -100.1125                |
| 14           | 1       |                     | 625  | 0.9233                       | 65.2271                      | 29.9969          | 158.3461         | 128.3493                 |
| 15           | 1, 3    | 19                  | 250  | 96.3668                      | 0.0460                       | 327.7635         | 4.3938           | -323.3697                |
| 16           | 1, 2, 3 |                     | 375  | 106.4919                     | 121.0213                     | 306.6995         | 214.8414         | -91.8581                 |
| 17           | 3       | 25,5                | 333  | 152.3012                     | 166.4550                     | 206.6932         | 213.9966         | 7.3034                   |
| 18           | 3       | 12                  | 83   | 42.0833                      | 45.8137                      | 108.3661         | 112.0228         | 3.6567                   |
| 19           | 3       |                     | 42   | 2.1566                       | 5.9695                       | 31.5942          | 47.0314          | 15.4372                  |
| 22           | 1       |                     | 375  | 0.4449                       | 39.0578                      | 21.3926          | 122.9345         | 101.5419                 |
| 23           | 1,3     | 46                  | 62.5 | 66.5405                      | 91.6797                      | 248.0575         | 187.3449         | -60.7125                 |
| <b>TOTAL</b> |         |                     |      | <b>12566.108</b>             | <b>16579.028</b>             | <b>3219.0834</b> | <b>2985.5042</b> | <b>-233.5793</b>         |
| <b>PROM.</b> |         |                     |      | <b>523.5879</b>              | <b>690.793</b>               | <b>134.128</b>   | <b>124.3960</b>  | <b>9.7324</b>            |

(1) = Fórmula de volumen (FAO).

(2)= Fórmula de volumen (Agudelo).

N/ha= número de árboles por hectárea.

Prom = promedio en base con las 24 ha muestreadas.

C= carbono.



Los datos obtenidos sirvieron para calcular los volúmenes de biomasa sobre el suelo de la zona, para ello se utilizaron dos fórmulas de volumen del fuste, la primera de la FAO y la segunda de Agudelo. Se utilizaron las dos fórmulas para comparar los resultados obtenidos y determinar cuál se adapta más.

La fórmula calculada por Agudelo en 1988 debe ser corregida pues los volúmenes calculados son mayores en un 32% de aquellos estimados por la fórmula de la FAO, esto puede deberse a la base de datos con la que fueron calculadas las fórmulas. En el estudio realizado por Agudelo se cubicaron los árboles de diámetro comercial dejando por fuera aquellos que no cumplían con el DAP requerido, siendo reflejado en los cálculos pues con DAP menores a 10 cm el volumen es negativo.

En la zona del experimento, de acuerdo a los pisos encontrados y a la distribución arbórea encontrada, se está capturando en promedio 110 t C/ha, que multiplicadas por las 24 ha del experimento nos dan un total de 5164 t C/ha.

Si se dan valores de 2.5 y 10 dólares a la tonelada de carbono se tendrá un valor entre 335 y 1341 dólares por hectárea adicionales por concepto de captura de carbono en bosque de pino.

#### 4.19 LA CURVA DE CRECIMIENTO.

Los volúmenes individuales por edad presentados en el cuadro 18 concuerdan con aquellos mencionados por CEMAPIF.

Debido a las condiciones del sitio y la calidad del suelo los árboles tienen un volumen bajo, a la edad de 31 años llegan a 0.40 m<sup>3</sup>. Las parcelas establecidas, a los 31 años presentan un 22.33% más de volumen promedio en los fustes con corteza en comparación con las parcelas naturales, se denota la importancia de un buen manejo forestal para el incremento de biomasa en la zona. Los cambios en biomasa representan mayor cantidad de carbono fijado y almacenado.

La tasa media anual de incremento de crecimiento de biomasa en las parcelas de *Pinus oocarpa* fue de 6.88 t ms/ha/año, la cual difiere de la reportada por la IPCC (1996) (mencionado por Pratt y Rodriguez) de 11.5 t ms/ha/año en *Pinus sp.*

**Cuadro 18.** Volumen con corteza de *Pinus oocarpa* en el cerro Uyuca para parcelas establecidas.

| Edad (años) | Alt prom (cm) | DAP cc prom (cm) | Vol cc prom (m3) | Vol/Peso (0,45 t ms/m3) |
|-------------|---------------|------------------|------------------|-------------------------|
| 9,7         | 8,45          | 9,775            | 0,0339           | 52,0549                 |
| 11,7        | 11,15         | 12,675           | 0,0723           | 73,5102                 |
| 13,7        | 13,025        | 14,45            | 0,1081           | 96,5351                 |
| 15,7        | 14,1          | 15,6             | 0,1348           | 114,5401                |
| 18,8        | 16,35         | 17,3             | 0,1901           | 142,4731                |
| 21,7        | 17,9          | 18,375           | 0,2329           | 161,3678                |
| 23,7        | 18,825        | 18,95            | 0,2595           | 175,9482                |
| 26,2        | 19,3          | 19,975           | 0,2924           | 182,3343                |
| 28,7        | 20,4          | 21,15            | 0,3432           | 204,2935                |
| 30,9        | 21,225        | 22,125           | 0,3882           | 196,9776                |

Cc= con corteza.

Prom = promedio.

Vol = volumen

## 5 CONCLUSIONES

- Se recomienda utilizar la metodología de cuantificación aceptada por la IPCC, tomando como base el plan de manejo forestal de la zona.
- El plan de manejo forestal es un instrumento conocido y legalmente establecido, el mismo que es renovado cada cuatro años.
- Existen, para Honduras, tablas de intensidad de raleos, las mismas que han sido calculadas en base con el índice de sitio, la calidad de sitio y la edad del rodal.
- La cantidad de carbono secuestrado y fijado depende del crecimiento y acumulación de la biomasa sobre el suelo.
- En parcelas establecidas, en promedio, 59.6% del volumen del fuste es madera y 40.39% es corteza.
- El volumen promedio por árbol en parcelas establecidas es bajo, pudiendo reflejar la falta de manejo y/o las condiciones del sitio.
- El volumen promedio del fuste, en parcelas establecidas, es de  $0.1467 \pm 0.085 \text{ m}^3$ . Acumulando en los 21 años  $0.2549 \text{ m}^3$ , con un índice de crecimiento medio anual de  $0.012 \text{ m}^3/\text{año}$ .
- El volumen de la corteza de los individuos en parcelas establecidas es de  $0.0589 \pm 0.033 \text{ m}^3/\text{árbol}$ , representado un volumen de  $76.883 \pm 31 \text{ m}^3/\text{ha}$ .
- El volumen promedio por hectárea, en parcelas establecidas, es de  $190.62 \pm 83 \text{ m}^3/\text{ha}$  con un incremento en volumen de  $223.48 \text{ m}^3/\text{ha}$  en los 21 años. El incremento medio anual del volumen fue de  $10.54 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ .
- En las parcelas establecidas se eliminó  $11.979 \pm 10.38 \text{ m}^3/\text{ha}$  en los 21 años del ciclo, representado emisiones de  $5.98 \pm 5.19 \text{ t C}/\text{ha}$ .
- Las parcelas naturales fueron sometidas a un régimen de raleos que van desde el 16 hasta el 45% del número inicial de árboles por hectárea.
- En parcelas naturales, en promedio, 69.84% del volumen del fuste es madera y 30.15% es corteza.
- En parcelas naturales el volumen de la corteza es 26% menor que el presentado en parcelas establecidas.
- El volumen promedio del fuste en parcelas naturales, es de  $0.311 \pm 0.153 \text{ m}^3$ , acumulando  $0.431 \text{ m}^3$  en los 16 años del ciclo. El crecimiento promedio anual fue de  $0.027 \text{ m}^3/\text{árbol}$ .

- El volumen promedio por hectárea, en parcelas naturales, es de  $171.84 \pm 49 \text{ m}^3/\text{ha}$ , acumulando  $149.574 \text{ m}^3/\text{ha}$  en los 16 años. El incremento medio anual es de  $9.407 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ .
- Los volúmenes por hectárea presentados en parcelas naturales son menores, pero si se comparan los volúmenes de los individuos se puede apreciar superioridad de las parcelas naturales.
- Los volúmenes altos en parcelas establecidas están dados por un número alto de individuos por hectárea.
- El volumen de la corteza de los individuos en parcelas naturales es de  $0.094 \pm 0.045 \text{ m}^3/\text{árbol}$ , representando un volumen de  $51.709 \pm 14 \text{ m}^3/\text{ha}$ .
- Los volúmenes por hectárea de la corteza son 48.68% mayores en parcelas establecidas, en comparación con parcelas naturales.
- Al dar un buen manejo a las parcelas se reduce la cantidad de corteza y con ello, existirá mayor cantidad de C almacenada en la biomasa (madera para muebles).
- En las parcelas naturales se eliminó  $21.485 \pm 23.21 \text{ m}^3/\text{ha}$  en los 16 años del ciclo, representado emisiones de  $10.74 \pm 11.607 \text{ t C}/\text{ha}$ .
- El cambio en la biomasa, en parcelas naturales, representó un incremento de  $10.74 \pm 11 \text{ tC}/\text{ha}$ , representando 79% más emisiones de las calculadas en las parcelas establecidas.
- *Pinus oocarpa* en parcelas establecidas, está fijando 4 tC/ha a partir del año 9.7 hasta el año 30.9.
- La captura potencial de C para *Pinus oocarpa* de la zona en parcelas establecidas, es de  $141.01 \pm 30.28 \text{ tC}/\text{ha}$ .
- *Pinus oocarpa* en parcelas naturales, está fijando 2.98 tC/ha a partir del año 18 hasta el año 33.9.
- La captura potencial de C para *Pinus oocarpa* de la zona en parcelas naturales, es de  $131.12 \pm 38 \text{ tC}/\text{ha}$ .
- La fórmula de volumen de Agudelo debe tener un factor de corrección, esto básicamente debido a la forma en que fue calculada.
- La clase de manejo *Pinus maximinoi/ Pinus oocarpa* fija 110 tC/ha.
- La tasa promedio anual de incremento de crecimiento de la biomasa en parcelas de *Pinus oocarpa* es de  $6.88 \text{ t ms}/\text{ha}/\text{año}$ .

## 6 RECOMENDACIONES

- Utilizar el plan de manejo forestal como herramienta de manejo en el cerro Uyuca.
- Revisar las densidades existentes en las parcelas establecidas y naturales del cerro Uyuca.
- Dar un manejo adecuado a las parcelas, si se hace de una manera óptima, se podrán alcanzar volúmenes de biomasa mayores y con ellos incrementar la cantidad de carbono almacenado.
- Diseñar un plan de raleo para la zona.
- Debido a las condiciones de pendiente y viento de la zona, se podría pensar en un régimen de cuatro raleos, esto permitirá que las intervenciones a la biomasa sean menos drásticas.
- Hacer un análisis económico de los costos de implementar un proyecto de esta naturales, así como de los costos que implica el manejo.
- Cuantificar la fijación potencial de carbono en el suelo de los ecosistemas forestales.
- Dar seguimiento al trabajo.
- Continuar con investigaciones en esta área, existen posibilidades grandes para que Zamorano se convierta en un ente piloto, beneficiándose de la transferencia de tecnología y experimentación a nivel ....

## 7 BIBLIOGRAFÍA

1. AGUDELO, N. 1988. Plan de manejo forestal del cerro Uyuca-Zamorano. Zamorano, Honduras. 76 p.
2. ALPIZAR, W. 2000. La Oficina de Implementación Conjunta y los proyectos forestales. San José, Costa Rica.
3. ALPIZAR, W.; MANSO, P.; CORRALES, L. 1998. Cuantificación de los Beneficios Ambientales de Reducción de Emisiones de Gases del Efecto Invernadero (GHI) en la cueca del Embalse el Cajón, en el Marco de las Actividades de Implementación Conjunta (AIC) y del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Honduras, AFE/COHDEFOR. 40 p.
4. AVEDILLO, M. Muestreo experimental. Zamorano, Honduras.
5. BERNI, C. 1999. Servicios de Monitoreo de Recursos Naturales. Certificación de Emisiones Reducidas de CO<sub>2</sub>. SGS. Guatemala, Guatemala. 24 p.
6. BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Rome, Italy, FAO ©. 55 p.
7. BUAUMONT, R. 1999. La contribución Forestal para Combatir el Cambio Climático. Tegucigalpa, Honduras. 18 p.
8. CASAS, F. 2000. Temas de discusión para los países de la Comunidad Andina de Naciones sobre la relación entre el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto y los bosques. Centro Andino para el Desarrollo. 16 p.
9. CEDSAL. 1996. Primera Conferencia Interamericana sobre Implementación Conjunta y Desarrollo Sostenible. Memorias. El Salvador. Monterrey, México, Secretaría del Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible de América Latina. 64 p.
10. CEMAPIF. 1999. Manual Técnico. Manejo, aprovechamiento y pequeña industria. Honduras, Graficentro Editores. 525 p.
11. CENTENO, 2000.
12. CENTER FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. 1999. Central America Background Information for Carbon Offset Investors. CCAD/USAID. 22 p.
13. E.A.P. 1999. Plan de manejo forestal del cerro Uyuca-Zamorano. Zamorano, Honduras. 76 p.
14. ERICKSON, N. 2000. Estimación del carbono contenido en el suelo. Zamorano, Honduras.
15. ERICKSON, N. 1999. Manual de laboratorio de introducción a Suelos. Zamorano, Honduras, Zamorano Press. 60 p.

16. ESPINOZA, N.; GATICA, J.; SMYLE, J. 1999. El Pago de Servicios Ambientales y el Desarrollo Sostenible en el Medio Rural. San José, Costa Rica, Serie de publicaciones RUTA, Imprenta IICA. 58 p.
17. FERREIRA, O.; Martínez, M. 1998. Estimación de valores por hectárea de biomasa para bosques de Honduras. Siguatepeque, Honduras, Escuela de Ciencias, Forestales. 30 p.
18. FONAFIFO. 1999. El Desarrollo del Sistema de Pago de Servicios Ambientales en Costa Rica. San José, Costa Rica. 64 p.
19. GROOTHESEN, C. 2000. Parcelas de muestreo permanente. ESNACIFOR, Honduras.
20. IPCC. 2000. Informe especial del Grupo III del IPCC. Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Montreal, Canadá, IPCC ©. 24 p.
21. OICH. 2000. Criterios y procedimientos de selección de proyectos. OICH, Honduras. 5p.
22. ORDOÑEZ, B. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México, México D.F, Instituto Nacional de Ecología. 72 p.
23. PAGES. 1999. Oficina de Implementación Conjunta de Honduras. Tegucigalpa, Honduras, Proyecto PAGES. 124 p.
24. PNUMA, 1998. Convención sobre el Cambio Climático. Chtelaine, Suiza, Haus Carstanjen. 30 p.
25. PRATT, L.; RODRIGUEZ, J. 1998. Potencial de Carbono y Fijación de Dióxido de Carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los Bosques de la República de Honduras. INCAE, CCAD, HIID. 29 p.
26. PROINCO. c 2000. El cambio climático mundial (calentamiento global). <http://www.mogensgallardo.com/cambiolglobal/> (15 de October de 2000).
27. REYES, J. 1993. Los raleos en pinares. Siguatepeque, Honduras, COHDEFOR. 60 p.
28. UNEP. 1998. El Protocolo de Kioto de la Convención sobre el Cambio Climático. París, Francia, Geneve Executive Center. 37 p.
29. VENEGAR, W. 2000. Comunicación Personal. San José, Costa Rica.
30. VINE, E.; SATHAYE, J.; MAKUNDI, W. 1999. Guidelines for the Monitoring, Evaluation, Reporting, Verification, and Certification of Forestry Projects for Climate Change Mitigation. Berkeley, USA, Energy Analysis Department. Environmental Energy Technologies Division. Lawrence Berkeley National Laboratory. 80 p.
31. WORD BANK. ENVIRONMENT DEPARTMENT. 2000. Greenhouse Gas Assessment Handbook. Land-Use Project Assessment Metodology: Forestry, Agriculture, and Land Management Projects. Washington, USA, WB ©. 112 p.

## 8 ANEXOS

### Anexo 1.

#### LISTA DE ABREVIATURAS.

|                    |   |
|--------------------|---|
| • AFE-COHDEFOR     | Administración Forestal del Estado.                                   |
| • AIC              | Actividades de Implementación Conjunta.                               |
| • C                | Carbono.  |
| • CCC              | Certificado de Compensación de Carbono.                               |
| • CFC              | Clorofluorocarbonos.  |
| • CH <sub>4</sub>  | Metano  |
| • CMCC             | Convención Marco del Cambio Climático.                                |
| • CNUMED           | Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. |
| • CO               | Monóxido de carbono.  |
| • CO <sub>2</sub>  | Dióxido de carbono.   |
| • COP              | Conferencia de las Partes de la CMCC.                                 |
| • CTO's            | Carbon Trade Offsets.   |
| • EAP              | Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.                              |
| • FAO              | Food Agricultural Organization.                                       |
| • FEB              | Factor de expansión de la biomasa.                                    |
| • FEV              | Factor de expansión del volumen.                                      |
| • GEI              | Gases del Efecto Invernadero.   |
| • GPS              | Geographic Position System.   |
| • Gt               | Giga toneladas.   |
| • ha               | Hectárea.   |
| • IC               | Implementación Conjunta.  |
| • IPCC             | Intergubernamental Panel Climatic Change.                             |
| • MDL              | Mecanismos de Desarrollo Limpio.                                      |
| • ms               | Materia Seca.   |
| • N <sub>2</sub> O | Monóxido de dinitrógeno.  |
| • OCIC             | Oficina Costarricense de Implementación Conjunta.                     |
| • OICH             | Oficina de Implementación Conjunta de Honduras.                       |
| • ONG              | Organismo No Gubernamental.   |
| • PAGS             | Proyecto de Apoyo a la Gestión Sostenible de los Recursos Naturales.  |
| • PK               | Protocolo de Kioto.   |
| • PNUD             | Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.                   |
| • SAS              | Statistic Analisis System   |
| • SERNA            | Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.                          |
| • SGS              | Societé Généralé de Surveillance S.A.                                 |
| • t                | Toneladas.  |
| • UTCUTS           | Uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura.       |

**Anexo 2.****Cálculos de madera extraída y emisiones potenciales en parcelas del cerro Uyuca.****Parcelas naturales**

| Edad | N/ha Prom. | Vol. Fuste sc. Promedio | Vol. Corteza prom (m3) | Vol. total (m3) | Vol total (m3/ha) | FEV ajuste | Vol. Ajustado (m3/ha) | Vol/Peso (0,45 t ms/m3) | FEB ramas y demas | t C/ha  |
|------|------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|---------|
| 20.0 | 28.0       | 0.0971                  | 0.0301                 | 0.1273          | 3.5697            | 2.8124     | 10.0395               | 4.5178                  | 52.3505           | 26.1752 |
| 23.0 | 89.2       | 0.1157                  | 0.0357                 | 0.1514          | 13.5090           | 2.1295     | 28.7678               | 12.9455                 | 88.0593           | 44.0296 |
| 24.8 | 29,9       | 0.2212                  | 0.0671                 | 0.2883          | 8.6208            | 2.3391     | 20.1651               | 9.0743                  | 73.8836           | 36.9418 |
| 27.2 | 194.0      | 0.1820                  | 0.0557                 | 0.2378          | 46.1371           | 1.6474     | 76.0058               | 34.2026                 | 142.3028          | 71.1514 |
| 29.2 | 9.9        | 0.0881                  | 0.0273                 | 0.1155          | 1.1488            | 3.5645     | 4.0947                | 1.8426                  | 33.6135           | 16.8067 |
| 31.7 | 63.9       | 0.7463                  | 0.2213                 | 0.9676          | 61.8282           | 1.5496     | 95.8101               | 43.1146                 | 159.5484          | 79.7742 |
| 33.9 | 23.6       | 0.5085                  | 0.1519                 | 0.6604          | 15.5846           | 2.0669     | 32.2111               | 14.4950                 | 93.1172           | 46.5586 |

**Parcelas establecidas.**

| Edad | N/ha Prom. | Vol. Fuste sc. Promedio | Vol. Corteza prom (m3) | Vol. total | Vol total (m3/ha) | FEV ajuste | Vol. Ajustado (m3/ha) | Vol/Peso (0,45 t ms/m3) | FEB ramas y demas | t C/ha  |
|------|------------|-------------------------|------------------------|------------|-------------------|------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|---------|
| 11.7 | 620.3      | 0.0068                  | 0.0035                 | 0.0103     | 6.3792            | 2.4911     | 15.8911               | 7.1510                  | 65.6819           | 32.8410 |
| 13.7 | 92.2       | 0.0295                  | 0.0131                 | 0.0425     | 3.9219            | 2.7577     | 10.8154               | 4.8669                  | 54.3115           | 27.1557 |
| 15.7 | 7.1        | 0.0249                  | 0.0113                 | 0.0361     | 0.2574            | 4.8727     | 1.2542                | 0.5644                  | 18.7357           | 9.3678  |
| 18.8 | 93.3       | 0.0949                  | 0.0385                 | 0.1333     | 12.4355           | 2.1667     | 26.9440               | 12.1248                 | 85.2557           | 42.6278 |
| 21.7 | 113.3      | 0.0922                  | 0.0382                 | 0.1305     | 14.7819           | 2.0898     | 30.8916               | 13.9012                 | 91.2129           | 45.6064 |
| 23.7 | 29.6       | 0.1107                  | 0.0456                 | 0.1563     | 4.6219            | 2.6646     | 12.3155               | 5.5420                  | 57.9107           | 28.9554 |
| 26.2 | 104.0      | 0.1223                  | 0.0500                 | 0.1723     | 17.9144           | 2.0075     | 35.9638               | 16.1837                 | 98.3269           | 49.1635 |
| 28.7 | 59.1       | 0.1503                  | 0.0610                 | 0.2113     | 12.4758           | 2.1652     | 27.0131               | 12.1559                 | 85.3636           | 42.6818 |
| 30.9 | 172.8      | 0.2174                  | 0.0867                 | 0.2027     | 35.0281           | 1.7450     | 61.1246               | 27.5061                 | 127.7809          | 63.8904 |



### Anexo 3.

#### Cálculos de volumen la biomasa sobre el suelo en parcelas del cerro Uyuca.

##### Parcelas establecidas

| Edad<br>(años) | Prom<br>Alt | Prom<br>DAP | Prom<br>DAP sc | Prom fuste<br>sc<br>Vol (m3) | Nha<br>Prom | Vol Prom<br>m3/ha | Vol corteza<br>prom (m3) | Vol corteza<br>prom<br>(m3/ha) | Vol total<br>prom<br>(m3/ha) | FEV<br>ajuste | Vol. Ajustado<br>(m3/ha) | Vol/Peso<br>(0,45 t ms/m3) | FEB<br>ramas y<br>demas | t C/ha   |
|----------------|-------------|-------------|----------------|------------------------------|-------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|
| 9,7            | 8,5         | 9,8         | 7,3            | 0,0235                       | 2315,6      | 54,3757           | 0,0104                   | 24,0842                        | 78,4599                      | 1,4744        | 115,6776                 | 52,0549                    | 175,1137                | 87,5569  |
| 11,7           | 11,2        | 12,7        | 9,6            | 0,0508                       | 1679,2      | 85,2649           | 0,0215                   | 36,1122                        | 121,3771                     | 1,3459        | 163,3560                 | 73,5102                    | 207,6653                | 103,8326 |
| 13,7           | 13,0        | 14,5        | 11,0           | 0,0764                       | 1584,1      | 121,0485          | 0,0317                   | 50,2456                        | 171,2940                     | 1,2524        | 214,5226                 | 96,5351                    | 237,5871                | 118,7935 |
| 15,7           | 14,1        | 15,6        | 12,0           | 0,0956                       | 1576,9      | 150,7330          | 0,0393                   | 61,9040                        | 212,6370                     | 1,1970        | 254,5336                 | 114,5401                   | 258,5314                | 129,2657 |
| 18,8           | 16,4        | 17,3        | 13,3           | 0,1353                       | 1474,1      | 199,3948          | 0,0548                   | 80,7882                        | 280,1831                     | 1,1300        | 316,6069                 | 142,4731                   | 287,9600                | 143,9800 |
| 21,7           | 17,9        | 18,4        | 14,2           | 0,1661                       | 1362,8      | 226,3084          | 0,0668                   | 91,0323                        | 317,3407                     | 1,1300        | 358,5950                 | 161,3678                   | 306,2313                | 153,1157 |
| 23,7           | 18,8        | 19,0        | 14,7           | 0,1853                       | 1333,2      | 247,0094          | 0,0743                   | 99,0048                        | 346,0142                     | 1,1300        | 390,9960                 | 175,9482                   | 319,6011                | 159,8006 |
| 26,2           | 19,3        | 20,0        | 15,5           | 0,2091                       | 1226,4      | 256,4040          | 0,0833                   | 102,1689                       | 358,5729                     | 1,1300        | 405,1874                 | 182,3343                   | 325,2799                | 162,6399 |
| 28,7           | 20,4        | 21,2        | 16,4           | 0,2458                       | 1170,7      | 287,7860          | 0,0974                   | 113,9712                       | 401,7572                     | 1,1300        | 453,9856                 | 204,2935                   | 357,5137                | 178,7568 |
| 30,9           | 21,2        | 22,1        | 17,2           | 0,2784                       | 997,9       | 277,8523          | 0,1098                   | 109,5176                       | 387,3699                     | 1,1300        | 437,7280                 | 196,9776                   | 344,7108                | 172,3554 |

##### Parcelas naturales.

| Edad<br>(años) | Prom<br>Alt | Prom<br>DAP | Prom<br>DAP sc | Prom fuste<br>sc<br>Vol (m3) | Nha<br>Prom | Vol Prom<br>m3/ha | Vol corteza<br>prom (m3) | Vol corteza<br>prom<br>(m3/ha) | Vol total<br>prom<br>(m3/ha) | FEV<br>ajuste | Vol.<br>Ajustado<br>(m3/ha) | Vol/Peso<br>(0,45 t ms/m3) | FEB<br>ramas y<br>demas | t C/ha   |
|----------------|-------------|-------------|----------------|------------------------------|-------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|
| 18,0           | 9,0         | 9,5         | 7,9            | 0,1331                       | 786,9       | 104,7003          | 0,0405                   | 31,8809                        | 136,5812                     | 1,3131        | 179,3400                    | 80,7030                    | 217,4661                | 108,7331 |
| 20,0           | 12,2        | 12,4        | 10,3           | 0,1672                       | 768,2       | 128,4123          | 0,0509                   | 39,1351                        | 167,5474                     | 1,2582        | 210,8025                    | 94,8611                    | 235,5427                | 117,7714 |
| 23,0           | 12,4        | 13,6        | 11,3           | 0,2104                       | 678,9       | 142,8266          | 0,0637                   | 43,2121                        | 186,0387                     | 1,2309        | 229,0019                    | 103,0508                   | 245,3780                | 122,6890 |
| 24,8           | 14,2        | 15,6        | 13,0           | 0,2647                       | 658,9       | 174,3928          | 0,0800                   | 52,6833                        | 227,0761                     | 1,1807        | 268,1109                    | 120,6499                   | 265,2543                | 132,6272 |
| 27,2           | 15,5        | 16,8        | 14,1           | 0,3279                       | 529,6       | 173,6703          | 0,0987                   | 52,2858                        | 225,9561                     | 1,1819        | 267,0644                    | 120,1790                   | 264,7424                | 132,3712 |
| 29,2           | 13,7        | 15,3        | 12,8           | 0,3237                       | 522,9       | 169,2533          | 0,0970                   | 50,7167                        | 219,9700                     | 1,1886        | 261,4522                    | 117,6535                   | 261,9793                | 130,9896 |
| 31,7           | 17,4        | 20,4        | 17,1           | 0,4949                       | 459,0       | 227,1388          | 0,1479                   | 67,8946                        | 295,0335                     | 1,1300        | 333,3878                    | 150,0245                   | 295,4012                | 147,7006 |
| 33,9           | 18,0        | 21,5        | 18,0           | 0,5637                       | 451,1       | 254,2739          | 0,1681                   | 75,8426                        | 330,1165                     | 1,1300        | 373,0317                    | 167,8643                   | 312,2608                | 156,1304 |