

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO BAJO UNA PLANTACIÓN DE AMARILLO (*Terminalia amazonia*), EN LA FINCA MADERA FINA FUTURO FORESTAL, S.A., LAS LAJAS, DISTRITO DE SAN FÉLIX, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.”

POR:

OGIER O. CARRERA S.

DAVID, CHIRIQUÍ, REPÚBLICA DE PANAMÁ.

2008.

“CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO BAJO UNA PLANTACIÓN DE AMARILLO (*Terminalia amazonia*), EN LA FINCA MADERA FINA FUTURO FORESTAL, S.A., LAS LAJAS, DISTRITO DE SAN FÉLIX, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.”

TESIS

SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO AMBIENTAL

PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE SER OBTENIDO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO

DIRECTOR: _____

COMITÉ: _____

COMITÉ: _____

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer primero a Dios por darme la oportunidad de haber llegado a esta parte de mis estudios y por haberme dado la fortaleza de seguir sin importar los obstáculos.

Deseo agradecer también a mis profesores que me han guiado dentro de mis estudios pero en especial al director de este proyecto **Ing. Ovidio Novoa** por sus consejos y enseñanzas. A mis asesores de este proyecto **Ing. Cecilio Estribí** y la **Ing. Cynthia Sánchez** mi más profundo agradecimiento, respeto y admiración.

Un profundo agradecimiento a la **Ing. Iliana Armien** y al **Sr. Andreas Eke** por haberme apoyado en esta etapa de mis estudios y por darme la confianza necesaria dentro de su prestigiosa empresa Futuro Forestal, S.A., también agradeciendo a sus colaboradores por apoyarme en toda la etapa de este estudio realizado.

Sobre todo deseo agradecer a toda persona que me apoyado en cada parte de mi vida y de alguna forma contribuyo a que se realizara este gran proyecto.

Ogier Omar Carrera Suárez

DEDICATORIA

Este documento lo deseo dedicar con mucho cariño a mi madre **Argentina Suárez** por haberme dado la vida, criarme de la mejor forma y por haber confiado en mí desde mis inicios universitarios y a mi hermana **Reyna J. Carrera** por apoyarme en todo lo que necesitaba y por darme el mejor ejemplo de esfuerzo y éxitos logrados.

A mi abuela **Adelfa Pinzón de Suárez** por ser como otra madre para mí y darme el ejemplo de perseverancia y respeto familiar.

A mis amigos por darme su apoyo y consejos para seguir adelante en cada uno de mis proyectos de vida y sobre todo por ser grandes personas, mil gracias.

Que Dios los Bendiga a Todos.

Ogier Omar Carrera Suárez

Carrera, O. 2008. "CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO AL MECENADO EN EL SUELO BAJO UNA PLANTACIÓN DE *Terminalia amazonia*, EN LA FINCA MADERA FINA FUTURO FORESTAL, S.A., LAS LAJAS, DISTRITO DE SAN FÉLIX, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ."

Palabras clave: Carbono, Densidad Aparente, Materia Orgánica, Amarillo (*Terminalia amazonia*), Suelo.

RESUMEN

El presente documento representa el esfuerzo de investigación realizado conjuntamente por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y la empresa Futuro Forestal, S.A., dirigida a las alternativas de conocimiento respecto al cambio climático. A través del almacenamiento de carbono en el suelo, como un producto de la conservación del uso de la tierra que son utilizados como pastizales y para que se conviertan en sistemas sostenibles de producción forestal.

Esta investigación se realizó en la Finca denominada Madera Fina. Está ubicada en Las Lajas, Distrito de San Félix, Provincia de Chiriquí. Tiene una superficie de 23.50 Has, las cuales 5.50 Ha pertenecen a la especie estudiada. Esta finca se encuentra plantada con Teca y especies nativas de la cuales se hace referencia en este proyecto a él Amarillo (*Terminalia amazonia*). La misma es manejada por la empresa Futuro Forestal, S.A.

Se calculó el carbono almacenado (tC/ha) en el suelo (a partir de la materia orgánica) bajo la plantación de *Terminalia amazonia* a la edad de 14 años bajo una aleatorización simple. Se evaluaron dos profundidades: (0-10) cm y (10-30) cm las cuales se dividieron el doce muestras de cada profundidad, por lo que da 24 muestras en total con ambas profundidades.

El estado de la Finca Madera Fina antes de establecerse la plantación era la un área de pastizal sobre utilizado. Por lo tanto, para conocer la dinámica del carbono almacenado en la plantación de Amarillo, previo a su establecimiento y a los 14 años de edad, fue necesario evaluar los resultados obtenidos en un previo estudio de carbono en otra finca (Pampanillo) de la misma

empresa, los cuales solo se tomara en cuenta el análisis del carbono almacenado en la plantación de Teca.

El suelo bajo la plantación de Amarillo (*Terminalia amazonia*) presentó 15.02 tC/Ha lo que representa al año 1.07 tCha⁻¹, lo que indica que esta planta aporta carbono al suelo pero no tan significativamente como el Teca.

INDICE DE CONTENIDO

| | Pag. |
|--|-------------|
| AGRADECIMIENTO | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| RESUMEN | v |
| INDICE DE CUADROS | ix |
| INDICE DE FIGURAS | x |
| INDICE DE ANEXOS | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 Antecedentes | 4 |
| 2.2 Características de la Planta | 6 |
| 2.2.1 Taxonomía | 6 |
| 2.2.2 Morfología | 6 |
| 2.2.2.1 Corteza | 6 |
| 2.2.2.2 Hojas | 7 |
| 2.2.2.3 Flores | 7 |
| 2.2.2.4 Frutos | 7 |
| 2.2.2.5 Semillas | 8 |
| 2.3 Ciclo del Carbono | 8 |
| 2.4 Secuestro de Carbono | 10 |
| 2.5 El Dióxido de Carbono | 10 |
| 2.5.1 El Dióxido de Carbono (CO ₂) un GEI en aumento | 10 |
| 2.5.2 Principales Características del Dióxido de Carbono | 11 |
| 2.6 Efecto Invernadero | 11 |
| 2.7 Captura de Carbono en Suelos Forestales | 13 |
| 2.8 Principales Fuentes Antropogénicas Emisoras de CO ₂ | 14 |
| 2.8.1 Orígenes de las Emisiones de GEI | 14 |
| 2.9 Otros diagnósticos nacionales para evaluar los GEI | 15 |
| 2.10 Diferentes escenarios de la captura de Carbono | 16 |
| 2.10.1 Las Tierras Cultivadas | 17 |
| 2.10.2 Los Bosques | 17 |
| 2.10.3 Las Tierras de Potreros y Pastoreo | 18 |
| 2.10.4 La Materia Orgánica del Suelo | 18 |
| 2.10.5 Propiedades de la Materia Orgánica | 20 |
| 2.10.6 La Actividad Forestal y la Materia Orgánica | 21 |
| 2.10.7 El Carbono en los Suelos Forestales | 21 |
| 2.10.8 La Variabilidad en el Almacenamiento de Carbono en los Suelos | 22 |
| 2.10.9 Medidas para fijar Carbono en los Suelos | 24 |
| 2.11 Bonos de Carbono | 24 |
| 2.12 Impactos Ambientales | 27 |

| | |
|---|----|
| 2.13 Relación Carbono / Nitrógeno | 27 |
| III. Materiales y Métodos | 29 |
| 3.1 Características del Área de Estudio | 29 |
| 3.1.1 Definición del Área de Estudio | 29 |
| 3.1.2 Localización | 29 |
| 3.1.3 Antecedentes históricos del Área de Estudio | 33 |
| 3.1.4 Suelos y Geología | 33 |
| 3.1.5 Clima | 33 |
| 3.1.6 Topografía | 33 |
| 3.2 Criterios que se tomaron en consideración para la investigación | 34 |
| 3.2.1 Criterios para la Selección del Sitio | 34 |
| 3.2.2 Criterios para la Selección de Especie | 34 |
| 3.3. Muestreo de Suelo | 35 |
| 3.3.1 Establecimiento de parcelas temporales para el muestreo de suelo | 35 |
| 3.3.2 Recolección de muestras de suelo | 35 |
| 3.4 Digitalización de la Finca con el Sistema de Información Geográfico SIG | 35 |
| 3.5 Principales parámetros a evaluar | 36 |
| 3.5.1 Densidad Aparente | 36 |
| 3.5.2 Materia Orgánica | 37 |
| 3.5.3 Fracción de Carbono en la Materia Orgánica | 37 |
| 3.5.4 Carbono contenido en el Suelo | 37 |
| 3.6 Carbono almacenado y fijado en el suelo de una plantación de Amarillo | 37 |
| IV Resultados y Discusión | 39 |
| 4.1 Determinación del Carbono almacenado en el suelo en una plantación de Amarillo (<i>Terminalia amazonia</i>) | 39 |
| 4.2 Determinación del Carbono presente en la Materia Orgánica | 45 |
| 4.3 Secuestro de Carbono en el Suelo (tCha-1) | 46 |
| V Conclusiones | 48 |
| VI Recomendaciones | 49 |
| VII Referencias Bibliográficas | 50 |
| Anexos | 54 |

| | |
|--|----|
| CUADRO I. CONTENIDO DE CARBONO (GIGA TONELADA DE CARBONO)EXISTENTE EN LOS DIFERENTES SUMIDEROS DEL MUNDO | 22 |
| CUADRO II. CARBONO CONTENIDO EN LOS DIFERENTES ORDENES DE SUELO | 23 |
| CUADRO III. COORDENADAS GEOGRÁFICA DEL MUESTREO DE SUELO | 36 |
| CUADRO IV. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LOS SUELOS EN LA PLANTACIÓN DE <i>TERMINALIA AMAZONIA</i> | 39 |
| CUADRO Nº V. COMPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA VS. LA DENSIDAD APARENTE EN P1. | 41 |
| CUADRO Nº VI. COMPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA VS. LA DENSIDAD APARENTE EN P2. | 42 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. Nº1. Ciclo del Carbono en la Tierra | 9 |
| Fig. Nº2. Secuestro y almacenamiento de Carbono en las plantaciones forestales en Costa Rica | 12 |
| Fig. Nº3. Emisiones de CO2 resultado del primer inventario nacional de gases de efecto invernadero para 1994 | 14 |
| Fig. Nº4. Emisiones de CO2 originadas por los procesos de los sectores industriales para 1994 | 15 |
| Fig. Nº5. Emisiones de GEI en la República de Panamá, 1999 | 16 |
| Fig. Nº6. Cantidad predicha de Calentamiento Global Evitado | 26 |
| Fig. Nº7. Mapa de Selección de las parcelas para el muestreo de suelo. (Mapa de Cobertura de Especies de la Finca Madera Fina). | 30 |
| Fig. Nº 8. Finca Madera Fina, Futuro Forestal, S.A., corregimiento de Las Lajas, Distrito de San Félix. | 31 |
| Fig. Nº 9 Ubicación de la Finca Madera Fina, Futuro Forestal, S.A., con respecto a las otras áreas utilizadas para pastoreo. | 32 |
| Fig. Nº10. Comparación de la Densidad Aparente para ambas profundidades de muestreo de suelo | 40 |
| Fig. Nº11. Comparación de la Materia Orgánica para ambas profundidades de muestreo de suelo | 43 |
| Fig. Nº12. Materia Orgánica Vs. Densidad Aparente P1 (0 - 10 cm) | 44 |
| Fig. Nº13. Materia Orgánica Vs. Densidad Aparente P2 (10 - 30 cm) | 45 |
| Fig. Nº14. Toneladas de carbono almacenado en el suelo en una plantación de <i>Terminalia amazonia</i> en la Finca Madera Fina | 46 |
| Fig. Nº15. Secuestro de Carbono en el Suelo de una Plantación de Amarillo | 47 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo N°1. Arquitectura arbórea del Amarillo (Terminalia amazonia) | |
| Muestra vegetativa - floral del Amarillo (Terminalia amazonia) | 55 |
| Anexo n°2. Infrutescencia del Amarillo (Terminalia amazonia) | |
| Fuste del Amarillo (Terminalia amazonia) | 56 |
| Anexo N°3. Muestras de suelo para determinar Densidad Aparente | |
| Muestras de suelo para determinar Materia Orgánica | 57 |
| Anexo N°4. Cilindro en horno para secado | |
| Muestra para pesar después de secadas | 58 |
| Anexos N°5. Peso del cilindro después de secado en el horno | |
| Muestras de suelo para determinar Materia Orgánica | 59 |
| Anexo N°6. Secado de muestras de suelo (Materia Orgánica) | |
| Triturar la tierra con el mortero (Materia Orgánica) | 60 |
| Anexo N°7. Tamizado de la tierra (Materia Orgánica) | |
| Colocando 0.05gr de suelo (Materia Orgánica) | 61 |
| Anexo N°8. Muestras colocadas en el ventilador (Materia Orgánica) | |
| Preparando en blanco para determinar Materia Orgánica | 62 |
| Anexo N°9. Determinando el valor de la Materia Orgánica en cada muestra | |
| Muestras con la Materia Orgánica ya determinada | 63 |

I. INTRODUCCIÓN

El incremento en la atmósfera de los llamados gases de invernadero (GEI) y el consecuente cambio climático tendrán efectos importantes en el siglo XXI. Si bien los escenarios exactos todavía son inciertos, son de esperar serios efectos negativos -aunque se esperan también algunos efectos positivos- por lo que es esencial que sea tomado un cierto número de medidas para reducir las emisiones de gases de invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa.

Una opción se basa en la captura de carbono en los suelos o en las biomásas terrestres, sobre todo en las tierras utilizadas para la agricultura o la forestación. A partir del Protocolo de Kyoto esto se conoce como *Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Forestación* (LULUCF) y concierne los artículos 1.3 y 1.4 del Protocolo (IPPC, 2000).

Una valiosa alternativa sería la conversión de la tierra a uso de producción forestal. Las plantas son capaces de capturar carbono de la atmósfera a través de procesos fisiológicos naturales (fotosíntesis y respiración). La materia vegetal que generan las plantas se aporta al suelo para formar parte de la materia orgánica, aumentando el potencial del suelo como sumidero.

Éste novedoso procedimiento sólo se ha impulsado de manera experimental y, a través de estudios iniciales en la comunidad y sus recursos, se analiza para los 30 años venideros la tendencia a la degradación ambiental. Ésta es la línea base sobre la cual se tejen los distintos proyectos de conservación y desarrollo para que dicha degradación no suceda y, al contrario, que aumente la biomasa y se garantice la captura de carbono. Se hace una proyección hacia los próximos años venideros de lo que sucedería sin proyectos especiales (pérdida de masa forestal, suelo y biodiversidad) o lo que cuesta mantener un bosque y el aumento de la captura de carbono con proyectos sustentables. Con ciertas metodologías validadas y reconocidas se calcula la diferencia entre lo que se espera que se pierda en carbono fijado por deforestación y lo que sucedería si los proyectos de conservación y aumento de la masa forestal y materia orgánica del suelo aumentarían. La cifra calculada y validada, y el proyecto avalado por las autoridades ambientales son la base de negociación entre las empresas que quisieran “comprar” este servicio ambiental y las comunidades.

La materia orgánica que está sobre la superficie del suelo no es tomada en consideración en la evaluación de las existencias de carbono del suelo. En los suelos cultivados, esto significa que los residuos vegetales son considerados una fase transitoria; sin embargo, los residuos superficiales de los cultivos, los cultivos de cobertura o la cobertura en si misma son partes importantes del agrosistema.

Panamá es uno de los países con potencial de ofrecer este servicio ambiental y recibir retribución por ello. En esta línea, la empresa Futuro Forestal, S.A., ha reforestado una superficie de 1,262 Has, desde el año 1995 hasta el 2008, y realiza constantes esfuerzos dirigidos a cuantificar el carbono almacenado y fijado en estas áreas.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el contenido de carbono que se encuentra almacenado (Tc/ha) en el suelo, bajo una plantación Forestal de *Terminalia amazonia*. Finca Madera Fina, Futuro Forestal, S.A., corregimiento de Las Lajas, Distrito de San Félix, Provincia de Chiriquí.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Cuantificar el carbono (tC/Ha) almacenado anualmente en el suelo en una plantación de *Terminalia amazonia* de 14 años de edad.
- ❖ Comprobar cuál de las hipótesis de adapta a los resultados.
- ❖ Determinar si la planta de amarillo (*Terminalia amazonia*), aporta carbono al ciclaje de nutrientes en el suelo.

HIPÓTESIS

Hu: El suelo en Plantaciones de Amarillo (*Terminalia amazonia*) contribuye a la Captura de Carbono.

Ho: El suelo en Plantaciones de Amarillo (*Terminalia amazonia*) no contribuye a la Captura de Carbono.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

A principios de la evolución, el hombre ha experimentando y explotado la tierra y los bosques para poder obtener sus fibras, alimentos y combustibles. En la actualidad nos hemos dado cuenta de que los bosques contienen una gran parte de la diversidad tanto biológica como faunística, que son componentes importantes dentro del sistema ecológico global, de los ciclos de carbono y del agua (ANDRADE, 2002).

Actualmente, debido a la gran tasa de deforestación de aproximadamente 15.5 millones de hectáreas por año, de los cuales se emiten 1,8 giga toneladas (Gt) de Dióxido de Carbono hacia la atmósfera, el gas de efecto invernadero más importante. Lo cual representa casi el 25% del total de las emisiones del Dióxido de Carbono que son causadas por el Hombre cada día (ANDRADE, 2002).

Sin embargo, cuando los bosques son reestablecidas o conservados, puede actuar como un sumidero del Dióxido de Carbono. Así, las emisiones de gas causadas por el uso de combustible fósil, estas pueden ser minimizadas o reducidas por medio de la conservación o restauración de los bosques (ANDRADE, 2002).

Según investigaciones se estima que en América Tropical existen alrededor de 548 millones de hectáreas de tierra que son utilizadas en agricultura o que son cultivadas, de lo cual representa un 33% del territorio, de las cuales aproximadamente un 57%, son utilizadas en pasturas, sistemas agroforestales y sistemas silvopastoriles y un 10% representan las plantaciones forestales. De los cuales estudios demuestran que los cambios en el uso de la tierra de las áreas de pasturas que son cambiadas a plantaciones forestales contribuyen a mejorar la calidad, estabilidad de los suelos y a mejorar la calidad y la productividad de los mismos suelos y a mejorar y a beneficiar el medio ambiente. Un ejemplo de este tipo de beneficio es la captura y almacenamiento de carbono que se puede lograr con plantaciones forestales (ANDRADE, 2007).

Los suelos de las plantaciones forestales están entre los mayores depósitos de Carbono del planeta y estos tienen potencial para expandir el almacenamiento de carbono y de esta manera poder mitigar la creciente concentración de carbono en la atmósfera.

Existen un cierto número de prácticas tanto agrícolas como forestales que son conocidas por su estímulo para la acumulación adicional de carbono en el suelo con el consecuente mejoramiento de su fertilidad y efectos positivos sobre la productividad y el ambiente. Su contribución para el manejo del carbono por parte del hombre es probable que se incremente a medida que se conocen más detalles de las características y que se apliquen en nuevos enfoques, tanto en el manejo forestal como en las actividades agrícolas.

La captación de carbono y el aumento de la materia orgánica del suelo tendrán un impacto directo sobre la calidad y la fertilidad de los suelos. Habrá también efectos positivos importantes sobre la sostenibilidad ambiental.

También debemos recordar al ahorro que presenta el no gastar en agroquímicos en las plantaciones forestales, y su práctica tiene ventajas y beneficios adicionales relevantes. De una parte, está la oferta de bonos de carbono que no conlleva ningún riesgo en la salud pública propio de los contaminantes con fertilizantes, herbicidas, plaguicidas y otros productos que alteran en ecosistema.

También la materia orgánica proveniente de la cobertura boscosa brinda nutrimentos al suelo e indirectamente a la plantación forestal. La función de la cobertura boscosa es la de mantener un microclima agradable, protección a animales y conserva la humedad dentro del área del bosque, reduce las variaciones de temperatura, reduce la evaporación del agua y reduce los vientos fuertes.

2.2 Características de la Planta

2.2.1 Taxonomía

La *Terminalia amazonia* es una especie arbórea monoica que alcanza alturas de hasta 70 m en los bosques amazónicos y centroamericanos y un diámetro de 1 a 3 metros. El fuste es bastante recto, asimétrico y con frecuencia acanalado en el tercio basal, con gambas delgadas. Al inicio las ramas crecen horizontalmente y progresivamente el ápice asume la posición vertical. **(CAMACHO 1981, FLORES 1994, CATIE 1997)**

2.2.2 Morfología

2.2.2.1 Corteza

La corteza es delgada (1 cm de espesor), de color pardo grisáceo o amarillo grisáceo en el exterior y muestra fisuras verticales, además exfolia láminas

escamosas de mediano tamaño, y amarillo verdoso o pardo-amarillento en el interior, de textura fibrosa y sabor amargo. **(CAMACHO 1981, FLORES 1994, CATIE 1997)**

2.2.2.2 Hojas

La *Terminalia amazonia* tiene filotaxia espiral; no obstante, la reducción de los entrenudos en el extremo distal de las ramas y ramillas menores, conduce a la formación de branquiblastos que, con frecuencia, han sido denominados pseudoverticilos. Las hojas son dorsiventrales, pecioladas, exestipuladas, simples, coriáceas o cartáceas, de color verde oscuro brillante en la haz y verde claro y opaco en el envés. Las hojas tienen un tamaño pequeño (8 – 9 cm de largo). **(CAMACHO 1981, FLORES 1994, CATIE 1997)**

2.2.2.3 Flores

Las inflorescencias se originan en las axilas de las hojas de los braquioblastos. Son racimos con numerosas flores, que pueden alcanzar hasta 15 a 16 cm de longitud. El raquis y el pedúnculo tienen una pubescencia ferruginosa. La flor es hermafrodita, actinomorfa y epígina. El pedicelo es corto y mide 1 a 2 mm. El cáliz es pentámero, gamosépalo, tubular, pentasulcado, pubescente, de color verde amarillento o blanquecino. **(CAMACHO 1981, FLORES 1994, CATIE 1997)**

2.2.2.4 Fruto

El fruto es una sámara pedicelada, con 5 alas de color amarillo dorado o amarillo parduzco brillante. Las alas se desarrollan a partir de las 5 costillas presentes en los 2/3 basales de la flor y están constituidas por tejidos del perianto, el androceo y el gineceo. Dos alas se extienden transversalmente y alcanzan una longitud de 0.5 a 1.4 mm. Son rígidas y densamente vascularizadas. Las 3 alas

restantes son de menor tamaño, ocasionalmente vestigiales; hay 2 en una cara de la sámara y una en la superficie opuesta. **(CAMACHO 1981, FLORES 1994, CATIE 1997)**

2.2.2.5 Semilla

La semilla se encuentra en una cavidad circundada por el endocarpo fibroso con una cubierta seminal de color amarillo opaco. Es cilíndrico-oblongada o cilíndrico-elíptica, suspendida por un funículo largo. La semilla madura es exospermica y carece de perisperma. El endosperma es nuclear y es absorbido durante el desarrollo del embrión, por lo que no se encuentra en etapas tardías de desarrollo. El embrión es pequeño y blanquecino. Es recto y tiene cotiledones foliosos y contortos.

La época de recolección de semillas se extiende desde Febrero hasta abril, variaciones regionales. **(CAMACHO 1981, FLORES 1994, CATIE 1997)**

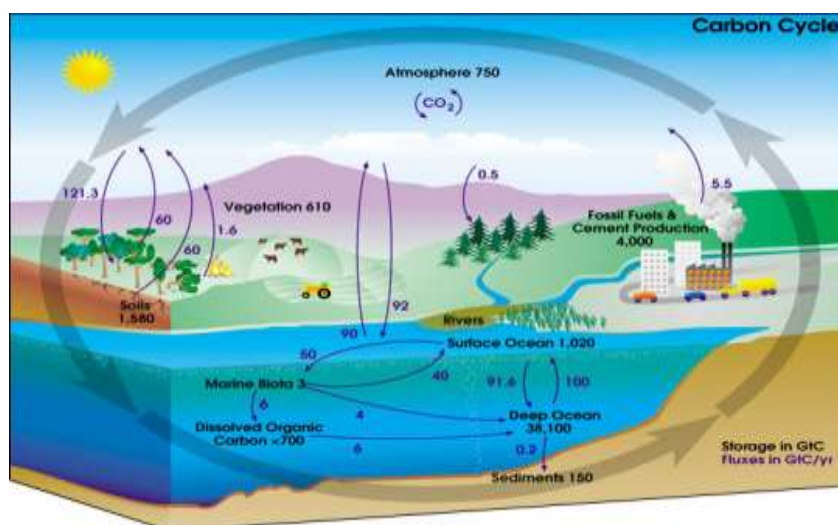
2.3 Ciclo del Carbono

El carbono es el elemento esencial que permite la vida sobre la tierra y circula de forma intrincada a través de la atmósfera, los océanos, los seres vivos, la corteza y manto terrestre (LOHMANN, 2000). Es un componente importante de la atmósfera terrestre donde existe principalmente como dióxido de carbono, metano y otros compuestos menores (SCHLAMADINGER, 2000). Los volcanes emiten dióxido de carbono a la atmósfera, mientras que la meteorización de las rocas silicatadas (donde participa la acción del agua y la actividad de las plantas) lo retiran (LOHMANN, 2000; BORNEMISZA, 1987).

Las plantas a través de la fotosíntesis captan el dióxido de carbono de la atmósfera, lo incorporan como carbono a sus tejidos y liberan oxígeno (Alfaro, 1997). Cada tonelada de materia vegetal seca contiene aproximadamente 50% de

carbono (BUDOWSKI, 1998). Se estima que anualmente se fijan en la tierra por procesos fotosintéticos 2×10^{11} tC (HIPKINS, 1984, citado por SEGURA, 1997).

Figura N°1. Ciclo del Carbono en la Tierra.



Fuente: Enciclopedia Wikipedia. Enciclopedia en línea.

Dentro de este proceso, la materia vegetal es incorporada al suelo, donde el carbono es asimilado por los microorganismos y almacenado. La conversión del carbono a forma de mineral se denomina **mineralización**, el proceso contrario se conoce como **inmovilización**. Estos dos procesos son concomitantes, así generan un ciclo mineralización – inmovilización en el suelo. Lo mismo acontece para la materia de origen animal que también se incorpora (BURBANO, 1989).

Parte del carbono capturado es rápidamente liberado a la atmósfera en forma de dióxido de carbono como resultado de los procesos de respiración en los organismos vivos (VILLE, 1998; DANIEL, et al. 1982). También por la descomposición y la quema de sustancias que contienen carbono en presencia de oxígeno: $\text{C}_{(s)} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2_{(g)}$ (LOHMANN, 2000; BROWN y LEMAY, 1987, citado por Segura, 1987). Este último es el caso que se cumple para la deforestación asociado con el cambio en el uso de la tierra (la tala – quema de los bosques, también de matorrales, rastrojos, etc) (CUBERO y ROJAS, 1999).

2.4 Secuestro de Carbono

Según el Programa de Responsabilidad Social y Ambiental (PETROBAS), el secuestro de carbono consiste en la captura y almacenamiento seguro de gas carbónico (CO₂), de modo a evitar su emisión y permanencia en la atmósfera terrestre. Esta práctica es una opción que permite continuar la utilización de combustibles fósiles hasta que nuevas fuentes de energía no fósiles pasen a ser empleadas.

Según el Fondo Nacional del Ambiente (FONAM), el secuestro de carbono es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para adsorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de adsorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales y sistemas agroforestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI).

2.5 El Dióxido de Carbono CO₂

2.5.1 Gases de Efecto Invernadero (CO₂).

A través de perforaciones realizadas en la Antártica se analizaron las minúsculas burbujas de aire atrapadas en los núcleos de hielo a diferentes niveles por debajo de la actual superficie hasta profundidades de 2 kilómetros. Así se registró la abundancia relativa de CO₂ y los niveles atmosféricos presentes hasta hace aproximadamente 160 mil años atrás. Las investigaciones revelaron que para ese entonces, las concentraciones de CO₂ en la atmósfera era de aproximadamente de 180 ppm (TALKE, 1996).

Para la revolución Industrial, a finales de los años 70s, la cantidad de CO₂ atmosférico era de aproximadamente de 270 ppm (KLÄY, 2000: SHEPHERD,

1998). Las concentraciones han crecido lentamente hasta el siglo XX y aumentando muy rápidamente en los últimos 50 años. Para inicios de la década de los 70s y finales de los 80s hubo un incremento de 320 a 350 ppm y para 1996 alcanzó 360 ppm (LOZÁN, HUPFER, GRAL, 2000).

2.5.2 Principales Características del Dióxido de Carbono CO₂

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro. A concentraciones atmosféricas, aún el doble de las actuales (360 ppm), no es nocivo para los humanos. Las plantas crecen más vigorosamente en ambientes enriquecidos de CO₂. Una característica significativa del CO₂ es que tiene un tiempo de vida muy largo en la atmósfera. Por ejemplo, si se coloca un kilogramo adicional de CO₂ en la atmósfera, tomará alrededor de 60 años para que se pierdan las dos terceras partes de la mitad restante (TALKE, 1996, citado por ANDRADE, 2002).

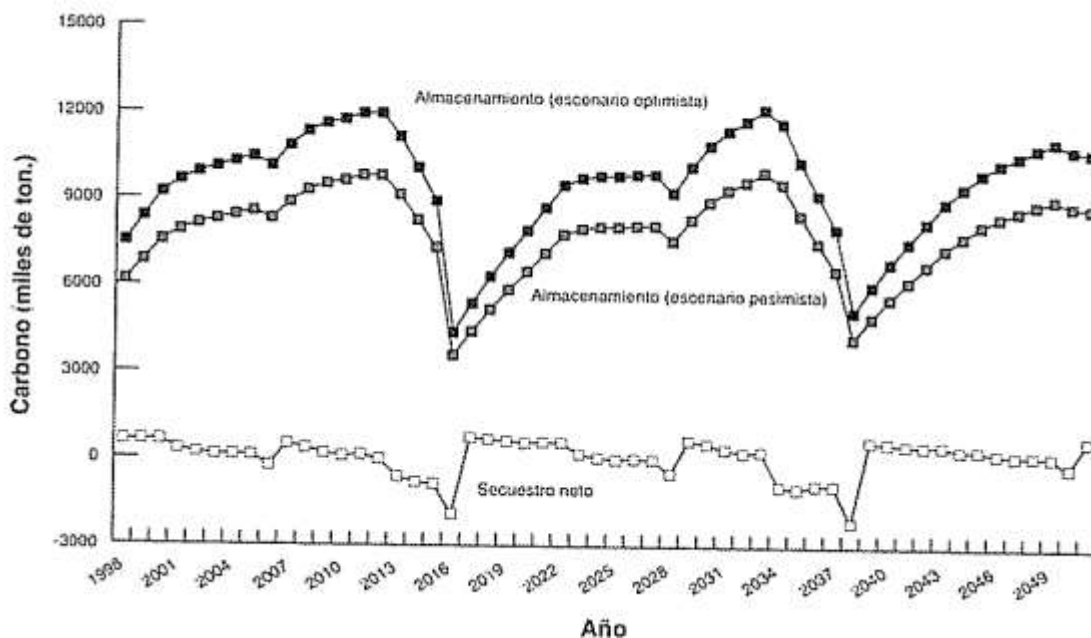
2.6 El Efecto Invernadero

El efecto invernadero no es, por sí mismo, una amenaza para la vida en la Tierra. El problema radica en que la actividad humana ha aumentado las concentraciones de **Gases de Efecto Invernadero (GEI)**. Con ello, la atmósfera retiene mayor cantidad de energía calórica, lo que provoca un incremento de la temperatura media del planeta (CUBERO y ROJAS, 1999)

Los anteriores autores aseguran que por tal razón el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio climático (GICC), establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), han demostrado a través de diferentes métodos, que el aumento de la temperatura sobre la superficie de la Tierra no tiene sólo causas naturales. El GICC, llegó en su segundo informe a la conclusión que más argumento habla a favor que en contra sobre la influencia antropogénica en el desarrollo actual del clima contemporáneo.

El efecto invernadero ha provocado a largo plazo un calentamiento de 18°C a 15°C o sea un incremento de 33°C , los cuales se justifica a los GEI: 20°C al vapor de agua, 7°C al Dióxido de Carbono, 2.4°C al Ozono, 1.4°C al Oxido Nitroso, 0.8°C al gas metano y 0.6°C a otros gases invernaderos. (LOZÁN, HUPFER y GRAL 2000).

Figura N°2. Secuestro y Almacenamiento de Carbono en la plantaciones forestales de Costa Rica.



Fuente: Estimación y Valoración Económica del Almacenamiento de Carbono. 1998

Los autores anteriores aseguran que estos gases conforman aproximadamente 3 por mil de toda la masa atmosférica, sin embargo son de gran importancia para el clima. Con excepción del ozono, todos los otros gases han aumentado desde hace 130 años con los inicios de la industrialización.

De allí que la producción de algunas de estas sustancias ha sido mundialmente prohibida en la Conferencia Internacional de Montreal, 1997.

También se caracterizan por ser bastante estables y tienen por tal razón, una permanencia en la atmósfera de varias décadas.

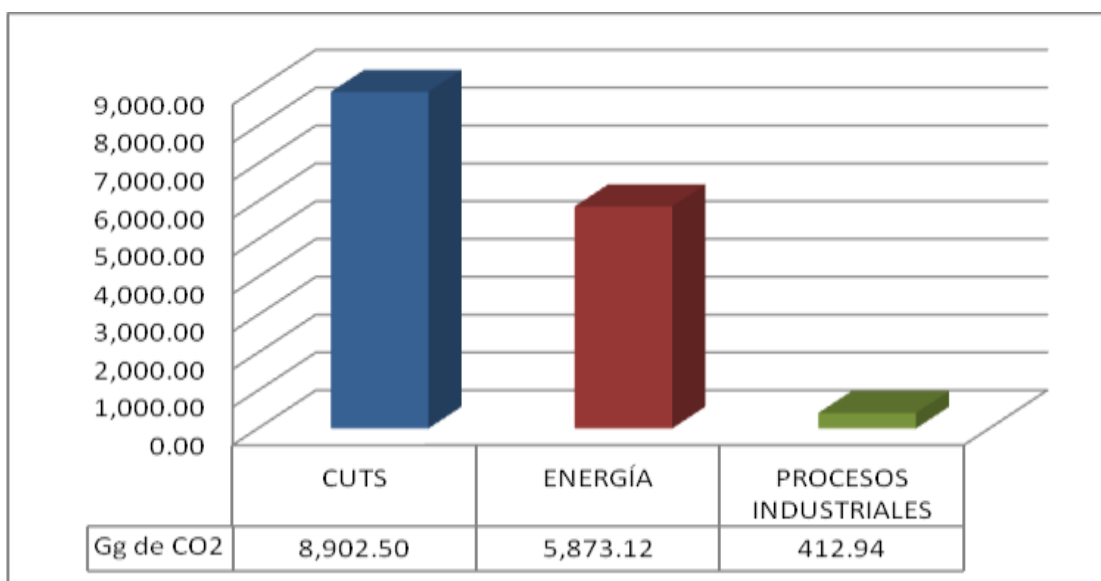
2.7 Captura de Carbono en Suelos Forestales

El incremento del CO₂ influye directamente sobre la productividad de los cultivos forestales, mejoramiento del suelo, agua y calidad del aire. En general, las prácticas adecuadas de manejo que incrementan el secuestro de carbono, también tienden a reducir la erosión del suelo y mejoran los recursos naturales. Entre estas prácticas se encuentran la aplicación de abonos orgánicos, la labranza conservacionista y el uso de cultivos de cobertura, que incrementan los procesos metabólicos de captura de carbono en el complejo bioecológico del suelo. (ROBERT, 2002 – www.fao.org/documentos)

A través del secuestro de carbono, los niveles del dióxido de carbono atmosféricos pueden reducirse en la misma medida que los niveles de carbono orgánico del suelo se aumentan. Si el carbono orgánico del suelo no es alterado, puede permanecer en el suelo por muchos años como materia orgánica estable. Este carbono es entonces secuestrado o removido del pool disponible para ser reciclado en la atmósfera. De esta forma se pueden reducir los niveles del CO₂, disminuyendo las probabilidades de calentamiento global. (ESPINOZA, 2005).

Para Robert, (2002) la materia orgánica del suelo tiene funciones esenciales desde el punto de vista biológico, físico y químico del suelo. El contenido de materia orgánica es generalmente considerado como uno de los indicadores primarios de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como ambientales.

Figura N° 3. Emisiones de CO₂ resultado del Primer Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero para 1994 (Gg)



Fuente: ANAM, 2000.

En el caso de la erosión, se ha establecido una correlación entre la disminución histórica de la materia orgánica del suelo y el desarrollo de la erosión. Todos los tipos de manejo de los cultivos que capturan carbono favorecen la cobertura del suelo y limitan la labranza y de este modo previenen la erosión. (ROBERT y CHENU, 1991, citado por ROBERT, 2002).

2.8 Principales Fuentes Antropogénicas Emisoras de CO₂

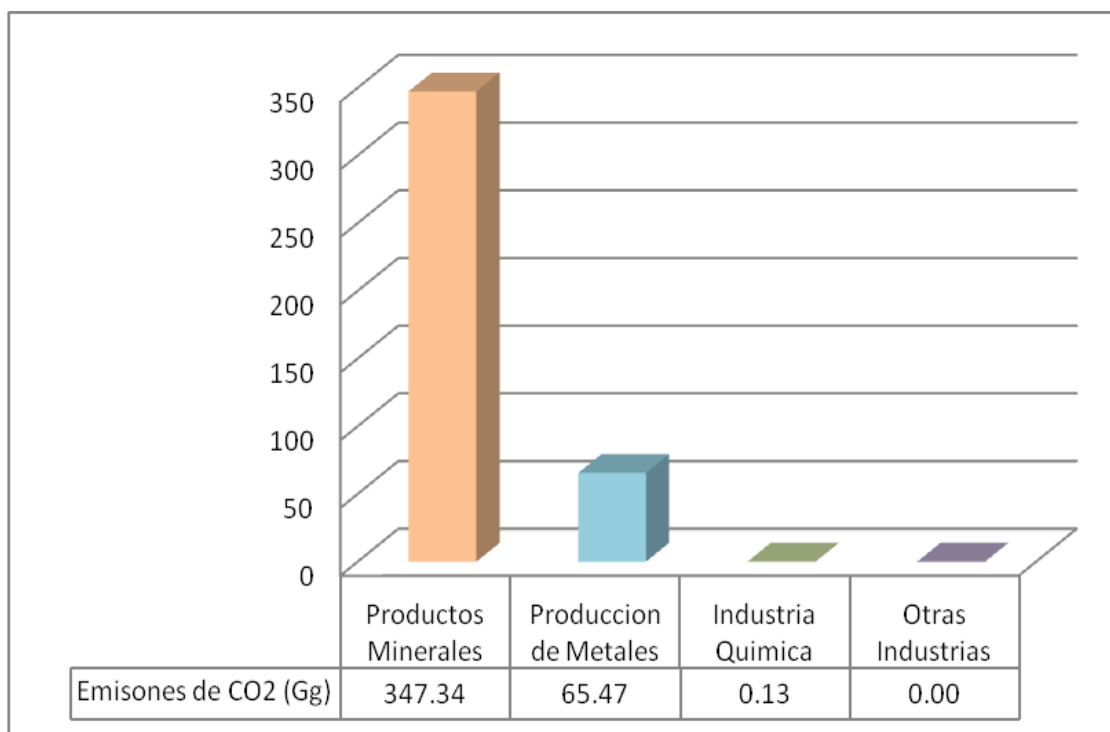
2.8.1 Origen de las emisiones de GEI

Aproximadamente tres cuartas partes de las emisiones de GEI provienen de los países industrializados (ANDRADE, 2002).

Las principales fuentes de las emisiones de los GEI se deben 50% al consumo de energía basado en la quema de combustibles fósiles; 20% provienen

de la industria química, 15% de la agricultura que se practica cada vez más intensamente y 15% por la destrucción de los bosques (ANDRADE, 2002).

Figura N° 4. Emisiones de CO₂ originadas por los procesos de los Sectores Industriales para 1994 (Gg).

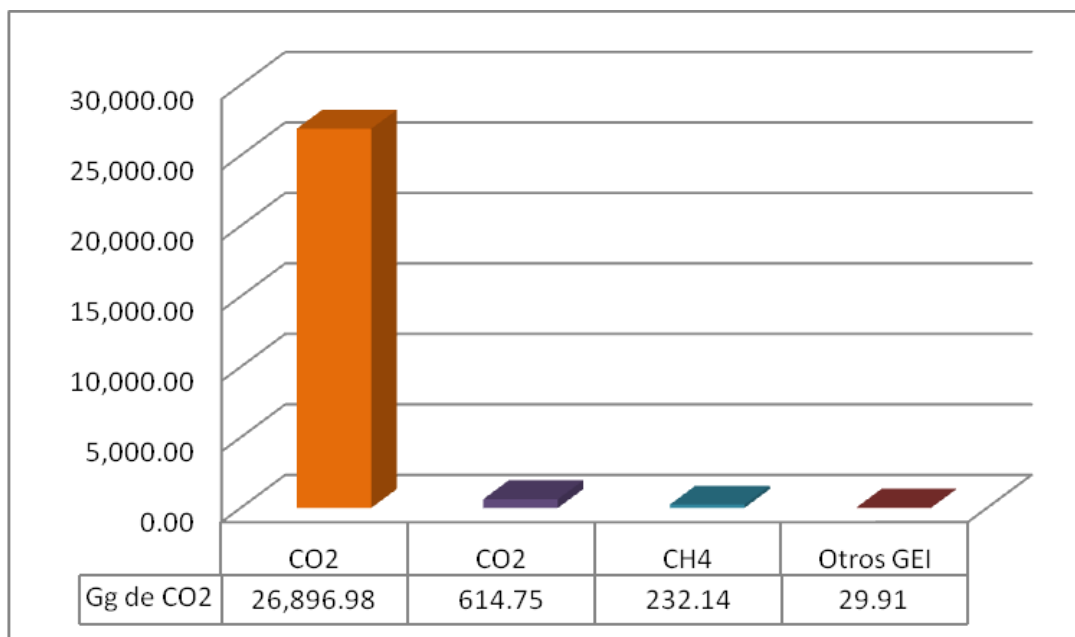


Fuente: ANAM, 2000.

2.9 Otros Diagnósticos Nacionales para Evaluar los GEI

Para 1999 se hicieron otras evaluaciones nacionales para estimar los GEI emitidos en la República de Panamá. Los resultados demostraron un total de emisiones de 27, 773.78 Gg de CO₂ en el territorio nacional. La imagen n° 6 muestra, como era previsto, que existe una supremacía en la emisiones CO₂ sobre los demás GEI en los principales sectores nacionales evaluados. También se evidencia un aumento del 45.31% o sea 12,585.22 Gg de CO₂ en relación al PINGEI con año base 1994.

Figura N° 5. Emisiones de GEI en la República de Panamá, 1999.



Fuente: ANAM, 2000.

2.10 Diferentes Escenarios de la Captura de Carbono

Podemos definir suelo como un cuerpo natural constituido por materia orgánica e inorgánica, diferenciado de la roca madre en varios horizontes de diferentes profundidades con propiedades físicas, morfológicas, composición química y características biológicas particulares entre sí (Soil Science Society of America, citado por ERICKSON, 1995, citado por ANDRADE, 2002.)

En las estimaciones de la captura de Carbono deben tomarse en consideración el tipo de suelo y la región agroecológica, pero los principales factores son el tipo de uso de la tierra y el manejo específico del suelo y del cultivo. Todas las estimaciones se hacen en toneladas/hectáreas/año (Tha^{-1} por año). Para este propósito se asume que las actividades o las prácticas de manejo tienen una duración finita de 20 a 50 años, correspondientes a la capacidad

limitada de los suelos de almacenar carbono (según el tipo de suelo). (OLDEMAN et al., 1991).

2.10.1 Las Tierras Cultivadas

En las tierras cultivadas la labranza es la práctica más importante que puede tener un efecto considerable sobre las existencias de carbono, ya sea negativo cuando se usan los métodos convencionales o positivos cuando se aplica la labranza de conservación. En la labranza de conservación, el rango de variación de la captura de carbono es de $0,1 - 0,2 \text{ Tha}^{-1}$ en las regiones semiáridas, a $0,2 - 0,5 \text{ Tha}^{-1}$ en las regiones tropicales húmedas. (LAL, 1999).

La fertilización incrementa la biomasa obtenida, aumentará el carbono disponible para ser capturado en el suelo. Pero, para ser efectivo, esta captura implica el uso de las prácticas descritas anteriormente, incluyendo la no labranza. La llamada intensificación agrícola o el uso de riego (combinado con el buen drenaje) permiten un incremento de la producción de biomasa, pero las condiciones no son necesariamente compatibles con las requeridas para el almacenamiento. (LAL, 1999).

2.10.2 Los Bosques

Además de la reforestación (la cual depende en buena parte de las decisiones políticas de un país) la agrosilvicultura representa una buena técnica y una buena opción ecológica de manejo de la tierra. Sin embargo, se debe tener presente que la agrosilvicultura es un sistema complejo que comprende al menos 18 prácticas distintas y un número virtualmente infinito de variaciones. Los árboles están asociados con los cultivos, con los animales o con ambos. Todas las prácticas involucran la captura de carbono por lo que los cultivos deben ser

plantados según las prácticas como lo son: labranza cero, cobertura con residuos, cobertura con cultivos, entre otros). (CAIRNS y MEGANCK, 1994).

2.10.3 Las tierras de Pastoreo y Pasturas

En todas las zonas agroecológicas, el sobre pastoreo es la principal causa de degradación pero los mecanismos que la causan son muy variables. En las áreas tropicales el sobre pastoreo favorece la compactación del suelo y las inundaciones; en las zonas áridas provoca principalmente una disminución en la cobertura vegetal del suelo y la consecuente erosión (hídrica o eólica) y desertificación. Si fuera necesario establecer una práctica prioritaria, esta sería el establecimiento de las pasturas en zonas áridas ya que constituye barreras contra la desertificación y la erosión (BATJES, 1999).

2.10.4 La Materia Orgánica del Suelo

La materia orgánica es producida en parte por los residuos animales, vegetales que cubren el suelo y los microorganismos del suelo. La vegetación de un bosque o plantación forestal consta de raíces, como también de troncos, ramas, flores y frutos que al depositarse en la superficie del suelo forman la hojarasca o mantillo. Cada elemento de la vegetación tiene una composición química específica y se componen en gran medida de muchos compuestos de carbono. Estos a su vez, le darán una alta complejidad a la materia orgánica del suelo. Los componentes más comunes son: polisacáridos, inclusive celulosa, hemi-celulosa, ligninas, sustancias pépticas y otros (BORNEMISZA y FASSBENDER, 1975; SALAS, 1987, citado por ANDRADE, 2002).

BURBANO (1989), señala que los grupos constituyentes orgánicos de las plantas se dividen generalmente en seis grupos: (1) celulosa, el constituyente químico más abundante, cuya cantidad varía del 15 al 60% del peso seco; (2)

hemicelulosa, frecuentemente forman del 10 al 30% del peso; (3) lignina, que conforman del 5 al 30% de la planta; (4) los azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos – fracción soluble en agua -, cuya contribución va del 5 al 30% en peso del tejido; (5) grasas, aceites, ceras, resinas y ciertos pigmentos solubles en alcohol y éter; (6) proteínas que tienen en su estructura la mayor parte de nitrógeno o azufre vegetal. Los constituyentes minerales que por lo general se estiman con base en las cenizas, varían del 1 al 13% del total del tejido.

Según BURBANO (1989), esta dinámica forma parte de un ciclo de mineralización e inmovilización. Durante la mineralización, parte de los nutrientes son asimilados por los microorganismos e incorporada a los tejidos microbiales (biomasa del suelo).

Los residuos se descomponen o degradan hasta los elementos de las proteínas, carbohidratos y otros. Los productos resultantes generan nuevos agregados químicos a través de procesos de resíntesis y polimerización. Durante la inmovilización el proceso es revertido. La energía necesaria para llevar a cabo este ciclo se libera durante la oxidación de los compuestos orgánicos adicionados al suelo o almacenados en la materia orgánica. En el marco de alta complejidad de estos procesos, algo del carbono es liberado a la atmósfera como CO_2 y el resto llega a formar parte de la materia orgánica del suelo y posteriormente mineralizado (BURBANO, 1989).

La formación y contenido de la materia orgánica está engranado a través de diferentes procesos de transformación y depende de diferentes factores. Los suelos bajo condiciones naturales tienen un rango característico tanto cualitativo como cuantitativo de la materia orgánica, como resultado de un equilibrio entre la acumulación de la materia orgánica y su mineralización. Este equilibrio va a estar determinado en primera instancia por el clima y la vegetación. También influyen factores como: relieve, drenaje, material parental, el tipo y duración del manejo del

suelo, algunas características químicas y físicas y no menos importante la naturaleza y actividad de la población microbiana del suelo (BURBANO, 1989).

La conversión en el uso de la tierra genera cambios en el contenido de la materia orgánica del suelo. La tala y quema de los bosques produce una interrupción en el ciclo natural de nutrientes, especialmente el de materia orgánica. La producción de residuos vegetales se detiene, disminuyendo así su degradación y mineralización (BORNEMISZA y FASSBENDER, 1975).

Los efectos de la quema son variados dentro del ciclo de la materia orgánica. En primer lugar, el calentamiento superficial del suelo disminuye total o parcialmente el mantillo. Se genera una alteración de las diferentes propiedades del suelo. Las temperaturas desarrolladas durante las quemas son variables (depende de la cantidad de biomasa, tipos y posición de restos vegetales, grado de humedad, factores climáticos y los vientos que atizan el fuego) y como consecuencia, se sobrepasan los límites biológicos provocando la esterilización parcial del suelo y reducción de la actividad microbiana. Así mismo temperaturas de 60°C provocan la desnaturalización de las proteínas; entre (80° – 100° C) se acelera la oxidación de la materia orgánica liberando CO₂ a la atmósfera y temperaturas mayores de 300°C, el nitrógeno asociado a la materia orgánica se desprende en forma de óxidos y también se pierde ciertas cantidades de azufre (BORNEMISZA y FASSBENDER, 1975).

2.10.5 Propiedades de la Materia Orgánica

La materia orgánica influye sobre las siguientes características del suelo: color, retención de agua, combinación con minerales de arcillas, acción quelante, solubilidad en el agua, acción amortiguadora, intercambio catiónico, mineralización, combinación con moléculas orgánicas entre otras.

2.10.6 La Actividad Forestal y la Materia Orgánica

La recuperación de los suelos abandonados por la agricultura migratoria y la ganadería es lenta. Según las condiciones presentes en el sitio puede durar entre 8 y 30 años. El proceso inicia con el desarrollo de un bosque secundario. La vegetación va acumulándose y restableciendo la producción de restos vegetales y su mineralización, para alcanzar la fertilidad original del suelo. Estudios realizados en sucesiones forestales secundarias en Centro y Sur América, demostraron que la tasa de acumulación de materia seca durante la regeneración natural después de talar y quemar el bosque es de aproximadamente 10 t/ha/año, durante los primeros años (FASSBENDER y BORNEMISZA, 1987; SALAS, 1987).

En sistemas forestales de plantaciones el ciclo de producción de restos vegetales y la disponibilidad de la materia orgánica forman un círculo complejo. La producción de residuos vegetales varía entre 6 y 10 t/ha/año. MONTAGNINI y STANLEY (1998), en Costa Rica, encontraron 8.64% de materia orgánica a una profundidad entre (0 – 15 cm), en una plantación de 4 especies mixtas con 6 años de edad.

2.10.7 El Carbono en los Suelos Forestales

Los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono en la biósfera terrestre (atmósfera, biomasa y el suelo). Contiene aproximadamente tres veces más cantidad de carbono que la vegetación (ver cuadro N° IV). Por eso merecen especial atención cuando se buscan mecanismos para el secuestro de carbono. Aumentar el nivel de carbono en el suelo podría ser un servicio ambiental valioso (JANDL, 2001).

Cuadro N° I. Contenido de Carbono (Giga toneladas C) existentes en los diferentes Sumideros del Mundo.

| Sumideros | Giga tonelada de Carbono (Gt C) |
|------------------|---------------------------------|
| Océanos | 360,000 |
| Reservas Fósiles | 15,000 |
| Suelos | 1,580 |
| Atmósfera | 750 |
| Vegetación | 560 |

Fuente: CENPAT, 1999. BUDOWSKI, 1998; DIXON et al. 1994, SCHILMEN, 1995; SMITH et al. 2000; citado por JANDL, (2001), ANDRADE, 2002.; modificado por CARRERA, 2008.

El carbono en el suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radicular vivo y muerto, en la materia orgánica y unido a complejos compuestos (JANDL, 2001; citado por ANDRADE, 2002). Según JACKSON (1964), en la materia orgánica del suelo, en promedio el 58% es carbono.

El carbono contenido en la materia orgánica de los suelos forestales consiste de varios almacenamientos de largas tasas de renovación, y se pueden necesitar décadas o siglos hasta la respiración del carbono viejo (SCHLOSES, 1999; citado por JANDL, 2001). El suelo es un gran sumidero de carbono que se forma lentamente, por lo que el efecto del secuestro de carbono tiene un gran potencial. El carbono de mayor interés es el que se ha establecido y que tiene una edad de hasta miles de años. En promedio, el carbono en enlaces débiles, presente en la hojarasca o en el follaje, es mineralizado en 4 años (SCHLOSES, 1999; TRUMBORE, 2000; citado por JANDL, 2001)

2.10.8 La variabilidad en el almacenamiento de carbono en los suelos

La variabilidad en el almacenamiento del carbono en los suelos es grande. La formación de complejos estables entre carbono y la materia orgánica depende

del contenido y tipos de arcillas en el suelo. En capas arenosas y suelos con arcillas caoliníticas, faltan sitios de absorción y resulta casi imposible la estabilización del carbono. También existen diferencias locales por la densidad del suelo y su contenido de rocas. De igual forma interviene el contenido de humedad, macro y micro fauna, y los nutrientes. Generalmente, el nitrógeno es el principal nutriente limitante, ya que su déficit va a limitar el secuestro de carbono (BURBANO, 1989).

CUADRO Nº II. CARBONO CONTENIDO EN LOS DIFERENTES ÓRDENES DE SUELOS.

| Orden | Carbono (Gt) |
|--------------|---------------------|
| Histosol | 390 |
| Andisol | 70 |
| Spodosol | 98 |
| Oxisol | 150 |
| Vertisol | 62 |
| Aridisol | 1154 |
| Ultisol | 101 |
| Molisol | 139 |
| Alfisol | 236 |
| Inceptisol | 552 |
| Endisol | 223 |

Fuente: Winrock International Institute for Agriculture Development, 1997.

La temperatura es otro factor que causa una compleja red de interacciones e influye en muchos procesos relacionados al secuestro de carbono: la productividad, la mineralización de nitrógeno, las especies presentes, la humedad del suelo, la cantidad y calidad de las hojarascas y la respiración. La temperatura acelera los procesos microbiológicos por lo que en latitudes altas, el ciclo del carbono es más lento que en regiones calientes (DAVIDSON *et al.* 2000, LISKI & WESTMANN, 1997, citado por JANDL; BURBANO, 1989; FASSBENDER, y BORNEMISZA, 1987).

2.10.9 Medidas para Fijar Carbono en los Suelos

Existen tres opciones de cómo el suelo forestal puede contribuir a la secuestación del carbono:

- Crear nuevos sumideros de carbono = a forestación. Que es mejor porque los suelos agrícolas los cuales contienen menos carbono que los suelos forestales.
- Reducir las tasas de liberación de Carbono. Hay circunstancias cuando el carbono se recicla lentamente, como en suelos ácidos, húmedos o fríos.
- Mejorar los depósitos existentes mediante sistemas de ordenación (Jandl, R. 2001).

Todo cambio en el uso de la tierra origina un cambio en el suelo (SALAS, 1987). El cultivo en los suelos disminuye el contenido del carbono, producto de bajos aportes de materia orgánica ante la ausencia de hojarasca y altas temperatura (JANDL, 2001). Según SALAS (1987), en Trinidad, la conversión de bosque secundario al cultivo de maíz y leguminosas provocó una disminución en el porcentaje de carbono de 1.02% a 0.82%, del año 0 al 6 respectivamente.

2.11 Bonos de Carbono

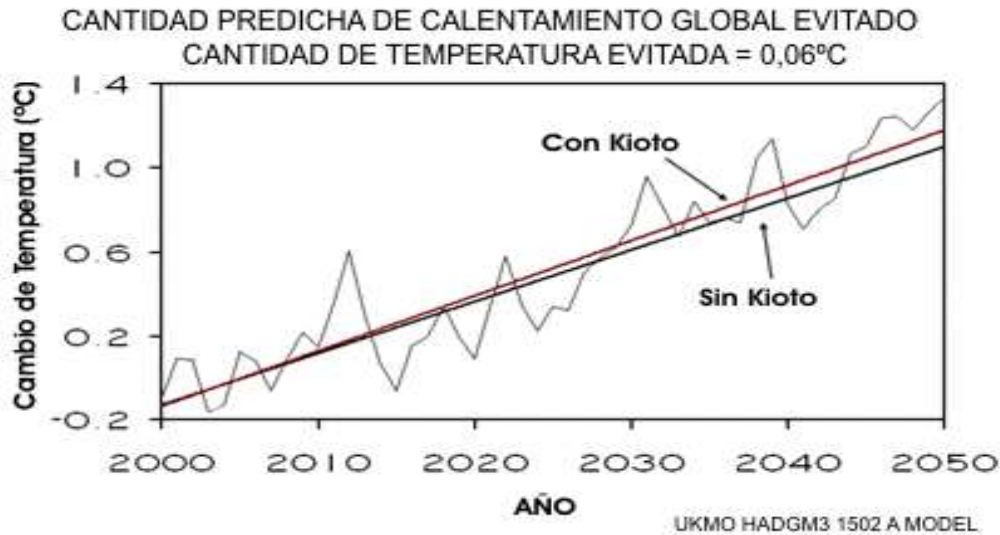
Los **bonos de carbono** son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero) (es.wikipedia.org/wiki/Bonos_de_carbono)

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejor de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a emitir CO₂ como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. La transacción de los bonos de carbono —un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono— permite mitigar la generación de gases invernadero, beneficiando a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión y haciendo pagar a las que emiten más de lo permitido. (cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html).

Mientras que algunos le llaman “mecanismo de descontaminación”, el término es considerado por otros como un error dado que se han ideado para intentar reducir los niveles de dióxido de carbono, o CO₂, pero el dióxido de carbono no es un gas contaminante sino que, muy lejos de ello, es la base fundamental de la vida vegetal y, por tanto, de la vida animal sobre el planeta. Sin CO₂, no existiría vida en la Tierra (cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html).

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países Anexo I (industrializados, de acuerdo a la nomenclatura del protocolo de Kyoto). Los tipos de proyecto que pueden aplicar a una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, forestación, limpieza de lagos y ríos, etc. (cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html).

Figura N° 6. Cantidad Predicha de Calentamiento Global Evitado



Fuente Enciclopedia Wikipedia (En Línea)

En un esfuerzo por reducir las emisiones que provocan el cambio climático en el planeta, como el calentamiento global o efecto invernadero, los principales países industrializados -a excepción de Estados Unidos- han establecido un acuerdo que establece metas cuantificadas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el 2012: el Protocolo de Kyoto. Para cumplir se están financiando proyectos de captura o abatimiento de estos gases en países en vías de desarrollo, acreditando tales disminuciones y considerándolas como si hubiesen sido hechas en su territorio.

Sin embargo, los críticos del sistema de venta de bonos o permisos de emisión, argumentan que la implementación de estos mecanismos tendientes a reducir las emisiones de CO₂ no tendrá el efecto deseado de reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera, como tampoco de reducir o retardar la subida de la temperatura. Según el estudio de WIGLEY, 1999, la implantación del Tratado de Kioto cumplido por todos los países del mundo, incluidos los Estados Unidos, causará una reducción de 28 partes por millón (ppm) para 2050, o reducirá la temperatura

predicha para ese año en 0,06 °C, o sino retrasará la fecha en que debería cumplirse el aumento dicho en 16 años.

2.12 Impactos Ambientales

La captura del carbono en los suelos agrícolas se contrapone al proceso de desertificación por medio del papel que juega el incremento de la materia orgánica sobre la estabilidad de la estructura resistente a la erosión hídrica y eólica y a la retención de agua, y al aspecto esencial de la cobertura de la superficie del suelo directamente por las plantas o por los residuos de las plantas o cobertura muerta para prevenir la erosión e incrementar la conservación del agua. La materia orgánica, al incrementar la calidad del suelo, también tiene una función protectora al fijar los contaminantes ya sean orgánicos como los pesticidas o minerales como los metales pesados o el aluminio los cuales, en general, disminuyen en su toxicidad. (ROBERT, 2002 – www.fao.org/documentos)

2.13 Relación Carbono/Nitrógeno

Relación del peso existente en productos residuales entre el carbono (C) y el nitrógeno (N). En un suelo que va mineralizando su materia orgánica e incorporándola al humus, la relación entre estos dos elementos y el fósforo (P) se va modificando conforme avanza el proceso. Por otra parte, la información relativa al C y N es casi rutinaria y se puede obtener con gran facilidad. Este cociente es entre 5 y 15 en el plancton marino; entre 20 y 60 en el mantillo vegetal; más tarde en los suelos cultivados, desciende entre el 8 y el 15, e igual ocurre con el sedimento marino, con una media de alrededor de 10 en ambos casos.

En el proceso de maduración de un suelo hay un enriquecimiento paulatino de carbono. En todos estos cambios es notable la influencia de bacterias, en especial en la desnitrificación y nitrificación. En definitiva, la composición química

de un suelo o sedimento es expresión de la actividad de todo el ecosistema, y no es estacionario, sino que está en relación con el proceso de sucesión.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características del área de estudio

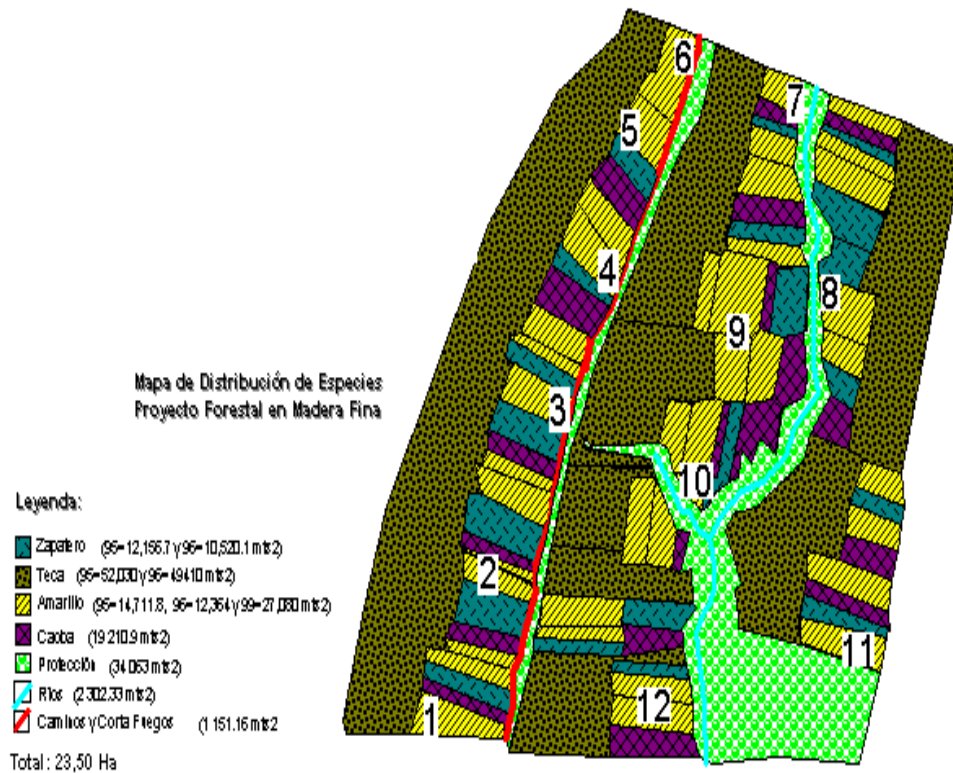
3.1.1 Definición del área de estudio

El área de estudio es en una finca privada llamada “Madera Fina”, las cuales pertenecen a varios propietarios los cuales son: Fundación EA, Cristina Kamin, Gabriela Kuehne, Anna C. Felmann, Rainer Schrammeck, CANIRA, S.A., Jan Markus Kristen, Rene Widderrich, Dora y Marc Bonville, Jans Von Ville y Holger Reichert. Estos bosques plantados eran manejados por la Empresa Futuro Forestal, S.A. y en la actualidad esta labor la hace Forest Finance Panamá; su manejo específico se caracteriza por la plantación de ***Terminalia amazonia*** y otras parcelas mixtas de especies nativas como: *Bombacopsis quinatum*, *Hieronyma alchorneoides*, *Dipteryx panamensis*, *Dalbergia retusa*, *Swietenia macrophylla* y una especie introducida la cual es el *Tectona grandis*. Además de permitir con ello la biodiversidad, también se conservan áreas de cobertura boscosa de protección manteniendo así un alto compromiso ecológico.

3.1.2 Localización

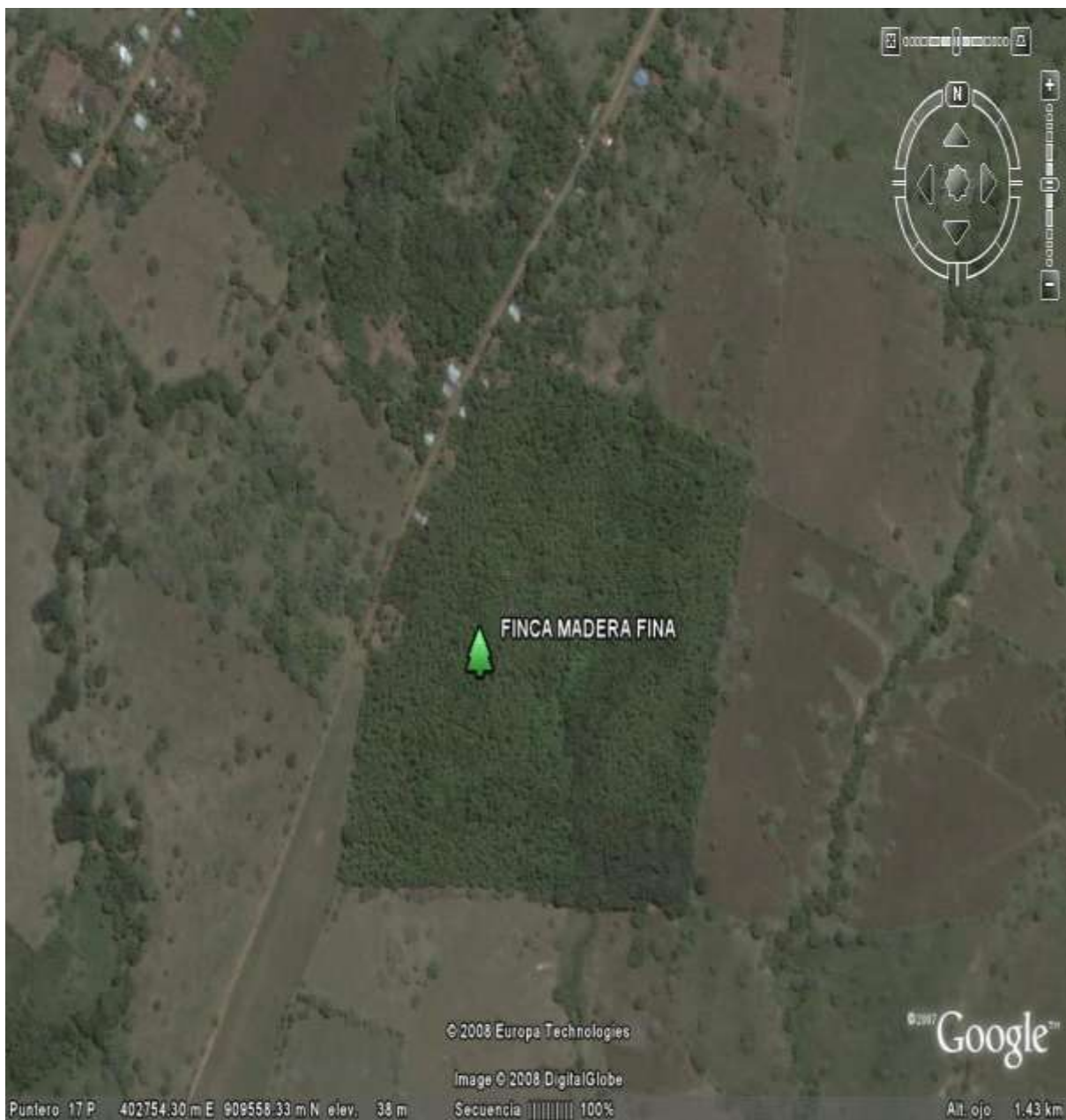
La Finca “Madera Fina” está ubicada en la comunidad de Buenos Aires, perteneciente al corregimiento de Las Lajas, Distrito de San Félix, Provincia de Chiriquí, República de Panamá. Geográficamente se localiza a 276839.2041 de Longitud Oeste y 753325.9030 Latitud Norte. La altura sobre el nivel del mar es de aproximadamente 100 msnm. (Instituto Geográfico Tomy Guardia (IGTG, 1984).

**Figura N° 7. Mapa de Selección de las parcelas para el muestreo de suelo.
(Mapa de Cobertura de Especies de la Finca Madera Fina).**



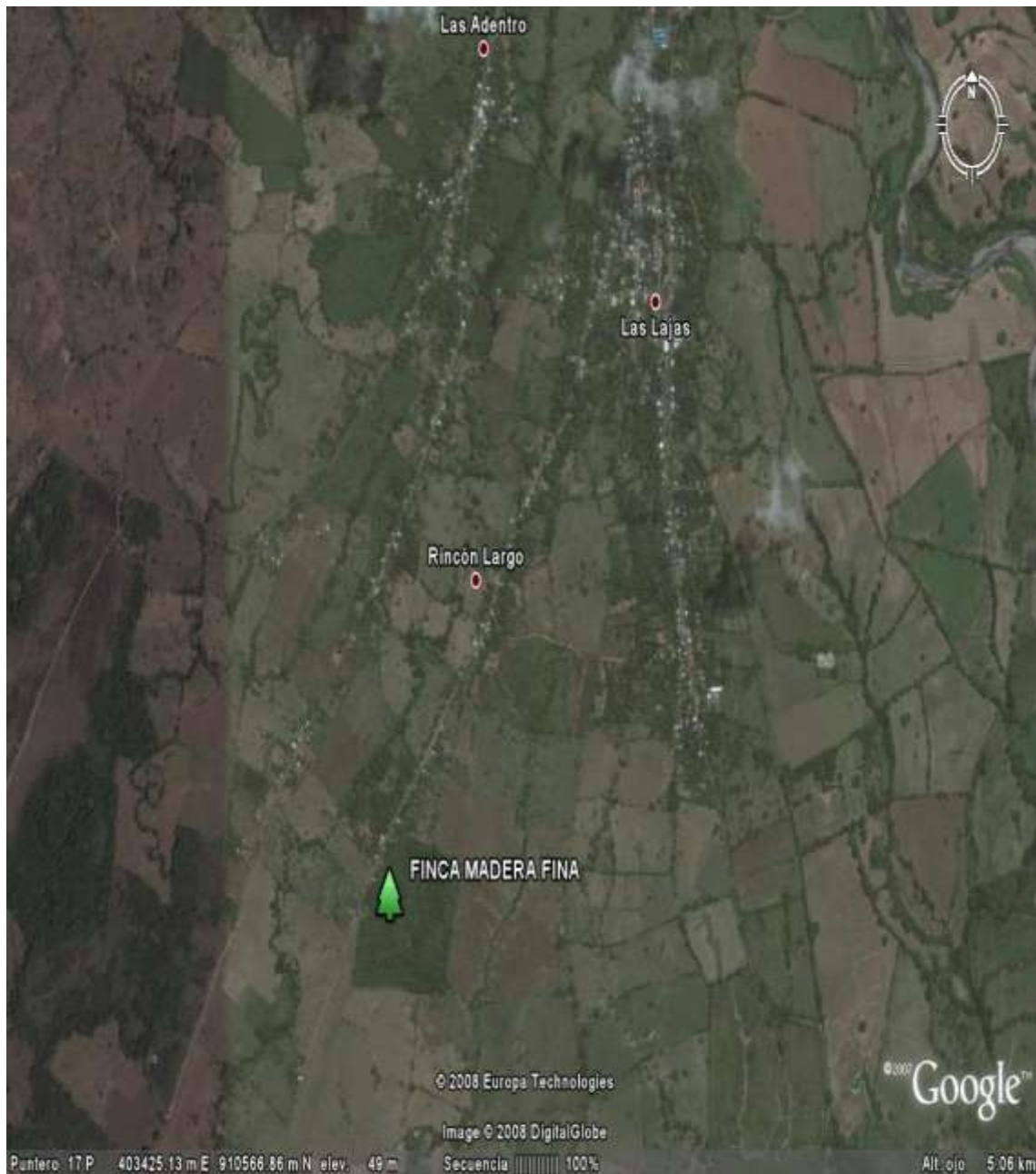
Fuente: Sistema de Información Geográfico Futuro Forestal.

Figura Nº 8. Finca Madera Fina, Futuro Forestal, S.A., corregimiento de Las Lajas, Distrito de San Félix.



Fuente: Googleearth (internet)

Figura Nº 9 Ubicación de la Finca Madera Fina, Futuro Forestal, S.A., con respecto a las otras áreas utilizadas para pastoreo.



Fuente: Googleearth (Internet)

3.1.3 Antecedentes Históricos del Área de Estudio

Tanto el área donde actualmente se encuentran las plantaciones, como la de pasto natural, estuvieron bajo cobertura boscosa hasta principios de los años 50⁽¹⁾. Posteriormente, se taló para convertirse a potreros. Desde entonces, el área con pasto ha sido utilizada para la producción ganadera, sin la implementación de un manejo adecuado. Estas mismas fueron las condiciones del suelo previo a los establecimientos de las plantaciones forestales.

3.1.4 Suelos y geología

El área de estudio está constituida geológicamente por materiales procedentes de basamentos del final del periodo terciario e inicios del cuaternario denominado SENOSRI. (CATAPAN 1965, citado por ANDRADE 2002, SELLHORN 1998.)

Estos suelos pueden clasificarse como Ultisoles. Se caracterizan por su baja fertilidad natural. Son tierras catalogadas en clase III, los cuales presentan un horizonte ócrico, sobre un subhorizonte cámbrico que varía de óxido, argílico y cámbrico. Son moderadamente profundos (de 90 a 120 cm), originados a partir de terrazas fluviales y rocas sedimentarias (CATAPAN, 1965).

3.1.5 Clima

El clima es Tropical Lluvioso (Ami), según la clasificación climática de Köppen. La temperatura media anual es de 26.8°C. La precipitación promedio anual es mayor a 2500 mm, su régimen climático se caracteriza por una estación seca con más de 3 meses (SELLHORN, 1998).

¹ Armién, I. (2007) Conversación personal. Futuro Forestal S.A.

La Finca presenta un área plana, que es una zona de mayor elevación, con un terreno plano (0 – 3 %), también tiene pendientes entre (3 – 8%) hasta (45 – 75%) clasificados como generalmente planos a fuertemente ondulados, con erosión moderada (laminar y/o surcos moderados), sin piedras en el horizonte superficial.

3.2 Criterios que se tomaron en consideración para la Investigación

3.2.1 Criterios para la Selección del Sitio

Para la presente investigación se decidió trabajar en la Finca Madera Fina, ya que está representa claramente el cambio en la conversión del suelo de un sistema de pastoreo excesivo a otro de producción forestal. Se consideró de igual forma el manejo forestal sostenible que se ha dado a la plantación, como también los antecedentes de investigaciones realizadas que serían una base de referencia para futuras investigaciones.

3.2.2 Criterio para la selección de Especies

En primer criterio se basa en que la *Terminalia amazonia* está plantada en parcelas homogéneas (ya que al principio de que se empezara a plantar solo se sembraron parcelas homogéneas en esta finca), ya que no es el caso en las otras fincas ya que las especies nativas se sembraron en parcelas mixtas. Por lo tanto esta especie presentó condiciones adecuadas para desarrollar la investigación aislando así posibles factores de errores a causa de heterogeneidad presente en las otras fincas. Otro criterio es la edad de la plantación ya que está es la primera plantación que tuvo la empresa Futuro Forestal, S.A., con un área de 5.50 Has.

3.3 Muestreo de Suelo

3.3.1 Establecimiento de parcelas temporales para muestreo de suelo

Se establecieron 12 parcelas temporales en la finca para el muestreo de suelo, que estaban ubicadas al azar en diferentes áreas de la finca respectivamente la especie seleccionada en tres distintos estratos los cuales se dividen en área plana, área de pendiente y área de quebrada, cada parcela que se estableció tuvo un número de identificación y la profundidad de cada muestra.

En cada parcela donde cumpla con los estratos mencionados se tomarán las coordenadas Geográficas para tener una referencia del sitio donde se estableció la muestra de suelo. Por medio del GPS, se busca en la finca la coordenada geográfica de cada muestra en las parcelas hasta localizarla.

3.3.2 Recolección de muestras de suelo

En cada parcela no permanente de muestreo de suelo se evaluarán 2 profundidades: P_1 0 – 10cm y P_2 10 – 30cm. Se tomaron 24 muestras de las cuales se dividieron en 12 sub-muestras para P_1 y 12 sub-muestras para P_2 . Después de elegir las sub-muestras, estas serán llevadas al laboratorio para su respectivo análisis de Densidad Aparente y Materia Orgánica para determinar el carbono almacenado en el suelo.

3.4 Digitalización de la Finca Madera Fina con el Sistema de Información Geográfico

Con el Programa de Sistema de Información Geográfico que existe en la Empresa Futuro Forestal, S.A. se realizó el levantamiento de los puntos de muestreo que se detallan a continuación:

CUADRO N° III. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELO.

| Muestras | UTM X | UTM Y |
|----------|--------|---------|
| 1 | 512325 | 9092188 |
| 2 | 512324 | 9092176 |
| 3 | 512323 | 9092174 |
| 4 | 512334 | 9090610 |
| 5 | 512337 | 9090602 |
| 6 | 512336 | 9090595 |
| 7 | 512338 | 9090552 |
| 8 | 512341 | 9090574 |
| 9 | 512343 | 9090598 |
| 10 | 512344 | 9090590 |
| 11 | 512347 | 9090571 |
| 12 | 512347 | 9090609 |

Y gracias a este programa se puede digitalizar las áreas que pertenecen a las parcelas de *Terminalia amazonia* en la Finca Madera Fina de la Empresa Futuro Forestal, S.A.

3.5 Principales parámetros a evaluar

3.5.1 Densidad Aparente

Para estimar la densidad aparente (gr/cm^3) se toman las muestras en campo través del método del cilindro. Posteriormente, se pasaron las muestras de suelos húmedos, luego se extraerá la humedad en un horno a una temperatura de 105°C , hasta alcanzar el peso constante y luego se pesa para registrar el peso seco.

Se calcula la densidad aparente por medio de la siguiente fórmula

$$DA = \frac{\text{Peso del Suelo seco}}{\text{Volumen Interno del Cilindro de muestreo}} = \text{gr/cm}^3$$

3.5.2 Materia Orgánica

Para determinar la materia orgánica se realizará a partir de la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio y calor de dilución del ácido sulfúrico, en el cual se utilizara el método de Walkey – Black (JACKSON, 1964)

3.5.3 Fracción de Carbono en la Materia Orgánica

La Materia Orgánica del suelo tiene en promedio un 58% de carbono reactivo. El cual se determina introduciendo un factor a la fórmula.

3.5.4 Carbono contenido en el Suelo

El Carbono obtenido en el suelo (tC/ha) se calcula a partir de los valores de porcentaje del carbono y densidad aparente con la siguiente fórmula:

$$\text{CARBONO EN EL SUELO (tC/ha)} = CC * DA * P$$

Donde:

P= Profundidad de muestreo en cm

CC= Contenido de Carbono (%)

DA= Densidad Aparente (g/cm³)

3.6 Carbono almacenado y fijado en el suelo de una plantación de amarillo.

Para determinar y calcular el carbono almacenado y fijado en el suelo, se necesita conocer los siguientes:

- **La Densidad Aparente:** Este parámetro se utiliza el método del cilindro de volumen conocido; este se toman muestras de suelos con cilindros donde se conozca su altura, radio y peso del cilindro (antes de hacer la muestra).
- **Materia Orgánica:** Este parámetro se utiliza a partir de la oxidación del carbono orgánico con el compuesto Dicromato de Potasio y el calor de dilución del ácido sulfúrico.
- **Fracción de Carbono en la Materia Orgánica:** Cuando se determina la Materia Orgánica en el suelo y tiene un 58 % del carbono reactivo.
- **Carbono en el Suelo:** Este se calcula a partir de los valores de porcentaje del carbono y la densidad aparente dando como resultado el carbono en (Tc / Ha).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados que se obtuvieron en la investigación es la determinación del carbono almacenado en el suelo de una plantación forestal de Amarillo (*Terminalia amazonia*).

4.1 Determinación del Carbono Almacenado en el suelo en una plantación de Amarillo (*Terminalia amazonia*.)

A continuación se presenta en el cuadro N° IV, los resultados que se obtuvieron al realizar los análisis para determinar el Carbono almacenado en los suelos de dicha plantación.

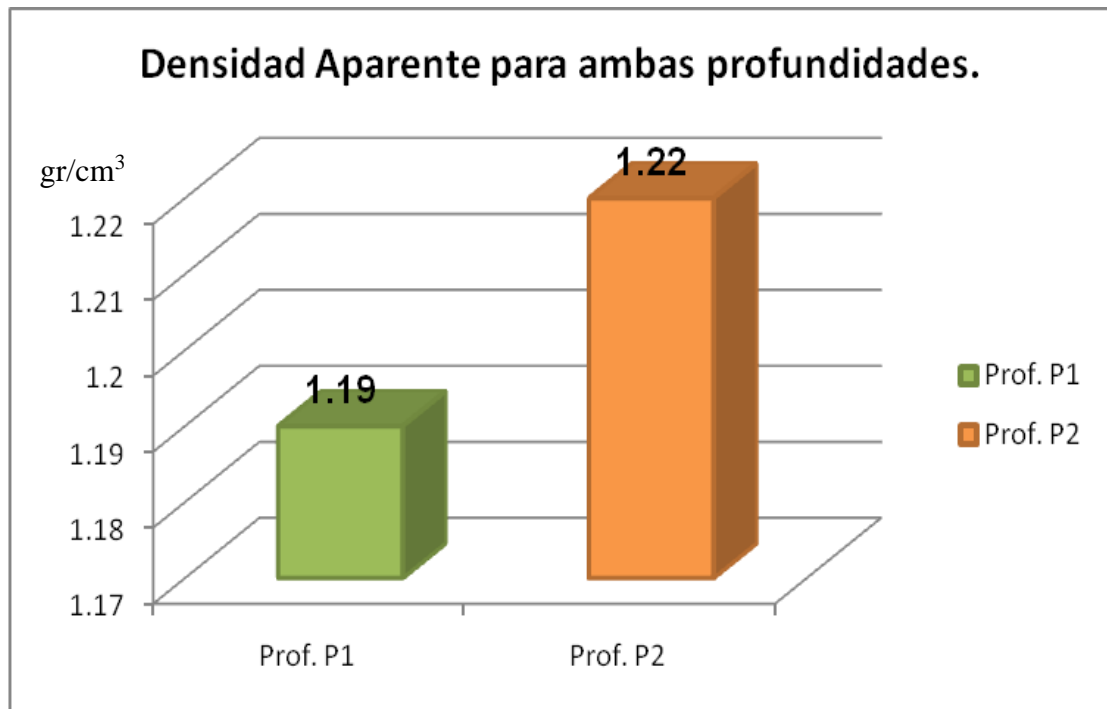
CUADRO N° IV. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS EN LA PLANTACIÓN DE *Terminalia amazonia*.

| % de C en Mat. Org. P1 | Densidad Aparente P1 | Carbono en el suelo | % de C en Mat. Org. P2 | Densidad Aparente P2 | Carbono en el suelo |
|------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1.82 | 1.35 | 0.37 | 1.82 | 1.33 | 0.12 |
| 2.33 | 1.21 | 0.42 | 3.24 | 1.08 | 0.17 |
| 1.94 | 1.27 | 0.37 | 2.98 | 1.07 | 0.16 |
| 1.17 | 1.22 | 0.21 | 2.46 | 1.36 | 0.17 |
| 1.04 | 1.24 | 0.19 | 1.94 | 1.03 | 0.10 |
| 1.29 | 1.22 | 0.24 | 1.94 | 1.26 | 0.12 |
| 1.24 | 1.42 | 0.26 | 1.94 | 1.33 | 0.13 |
| 2.72 | 1.11 | 0.45 | 2.20 | 1.29 | 0.14 |
| 2.53 | 1.21 | 0.46 | 4.27 | 1.22 | 0.26 |
| 2.59 | 1.11 | 0.43 | 3.63 | 0.97 | 0.18 |
| 2.20 | 1.13 | 0.37 | 3.50 | 1.16 | 0.20 |
| 1.55 | 1.17 | 0.27 | 2.85 | 1.12 | 0.16 |

- **Densidad Aparente**

Al observarse los resultados de los promedios para la variable Densidad Aparente, figura n°10, registra valores promedios de 1.36 g/cm³ en profundidades P₁ (0-10 cm) y promedios de 1.42 g/cm³ en profundidades P₂ (10-30 cm).

Figura N° 10. Comparación de la Densidad Aparente para ambas profundidades de muestreo de suelo.



- **Materia Orgánica**

En la figura n°11, se aprecia los valores medidos en porcentaje de la Materia Orgánica para las profundidades de P₁ (0-10 cm) y P₂ (10-30 cm). El promedio mayor fue de 7.37 g/cm³ para profundidad P₁ y de 4.47g/cm³ para la profundidad P₂.

Estribí (1984), en estudios realizados en suelos cubiertos de pastizales sin árboles presentaban una disminución en el contenido de Materia Orgánica de un 30.47 % con respecto al bosque.

Turenne citado por Estribí, (1984), en un charral de edad conocida realizó observaciones de la dinámica de la materia orgánica durante las fases de crecimiento, observó que la materia orgánica durante la fase de crecimiento observó que la materia orgánica se restablecía por si mismo después de 4 años de charral y que en un charral de 10 años la materia orgánica fue semejante a la encontrada en el bosque de 31 años.

CUADRO N° V.COMPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA VS. LA DENSIDAD APARENTE EN P₁.

| Comparación de Densidad Aparente Vs. Materia Orgánica en profundidad P2 (10-30 cm) | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Muestras P1 | Densidad Aparente P1 | contenido de M.O. P1 |
| 1 | 1.35 | 3.13 |
| 2 | 1.21 | 4.02 |
| 3 | 1.27 | 3.35 |
| 4 | 1.22 | 2.01 |
| 5 | 1.24 | 1.79 |
| 6 | 1.22 | 2.23 |
| 7 | 1.42 | 2.23 |
| 8 | 1.11 | 4.69 |
| 9 | 1.21 | 4.47 |
| 10 | 1.11 | 4.47 |
| 11 | 1.13 | 3.80 |
| 12 | 1.17 | 2.68 |

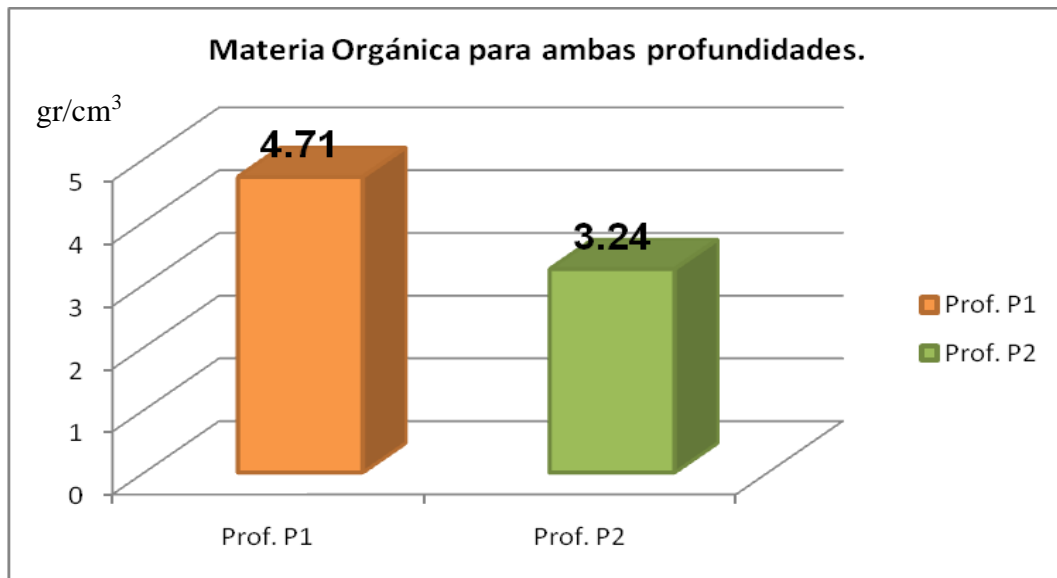
CUADRO N° VI. COMPARACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA VS. LA DENSIDAD APARENTE EN P₂.

| Comparación de Densidad Aparente Vs. Materia Orgánica en profundidad P1 (0-10 cm) | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Muestras P2 | Densidad Aparente P2 | Contenido de M.O. P2 |
| 1 | 1.33 | 3.13 |
| 2 | 1.08 | 5.58 |
| 3 | 1.07 | 5.14 |
| 4 | 1.36 | 4.24 |
| 5 | 1.03 | 3.35 |
| 6 | 1.26 | 3.35 |
| 7 | 1.33 | 3.35 |
| 8 | 1.29 | 3.80 |
| 9 | 1.22 | 7.37 |
| 10 | 0.97 | 6.25 |
| 11 | 1.16 | 6.03 |
| 12 | 1.12 | 4.91 |

En los cuadros anteriores se presentan los resultados de los muestreos donde se observa que la materia orgánica va en aumento y la densidad aparente disminuyendo haciendo una comparación con ambas profundidades que se consideraron para él estudio.

Las investigaciones anteriores mencionadas han demostrado que la presencia de árboles aumenta de contenido de materia orgánica en el suelo, lo que a su vez contribuye a mejorar algunas características físicas y químicas del mismo tal como se ha encontrado en esta investigación.

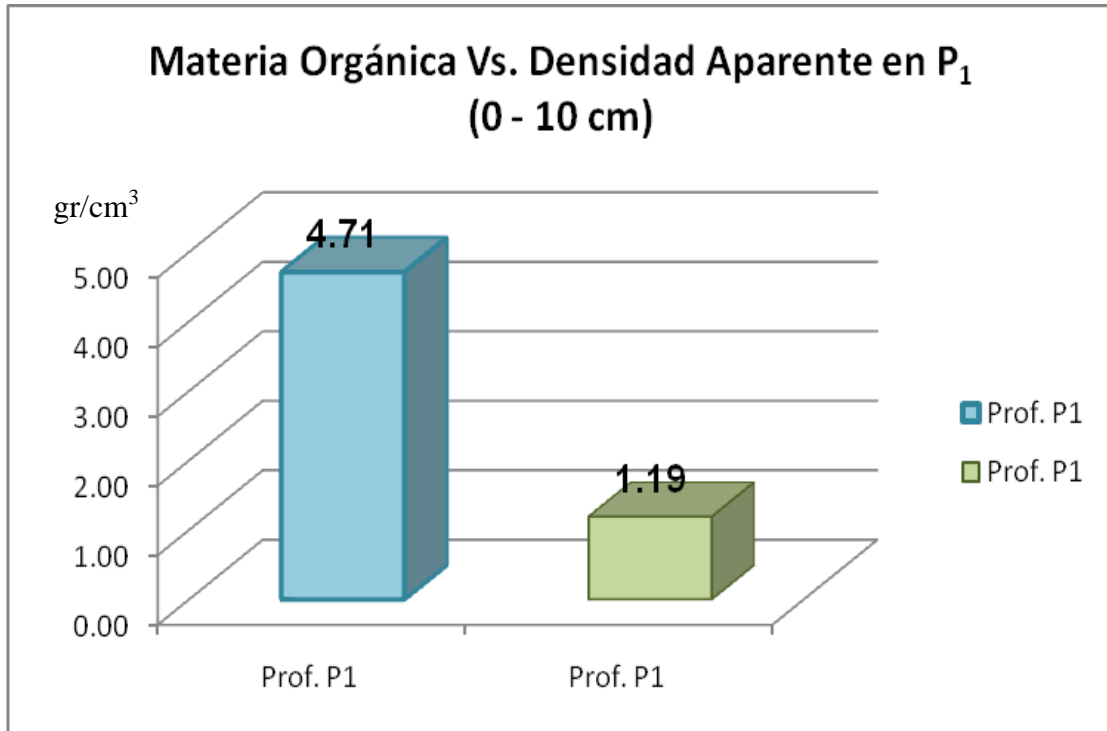
Figura Nº 11. Comparación de la Materia Orgánica para ambas profundidades de muestreo de suelo.



- **Los efectos de la materia orgánica sobre la Densidad Aparente.**

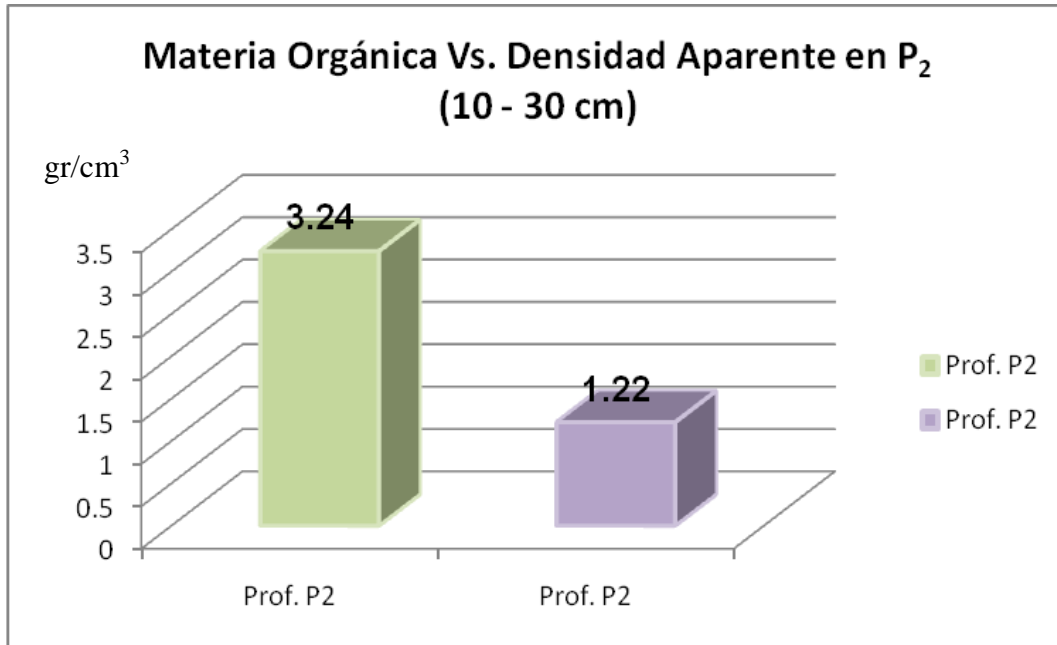
Al comparar los promedios para la densidad aparente y materia orgánica, figuras nº 12 y 13, se puede observar un efecto directo de la materia orgánica con respecto a la densidad aparente en el suelo.

Figura Nº 12. Materia Orgánica Vs. Densidad Aparente en P₁ (0 – 10 cm).



Esta influencia se debe según Estribí (1984), a que la densidad del suelo puede disminuir si el volumen de macroporos aumenta y viceversa, por ende, al depositarse más hojarascas y residuos vegetales al suelo, existe mayor cantidad de materia orgánica lo que genera un aumento en el volumen de los macroporos, causando una disminución de la densidad aparente del suelo.

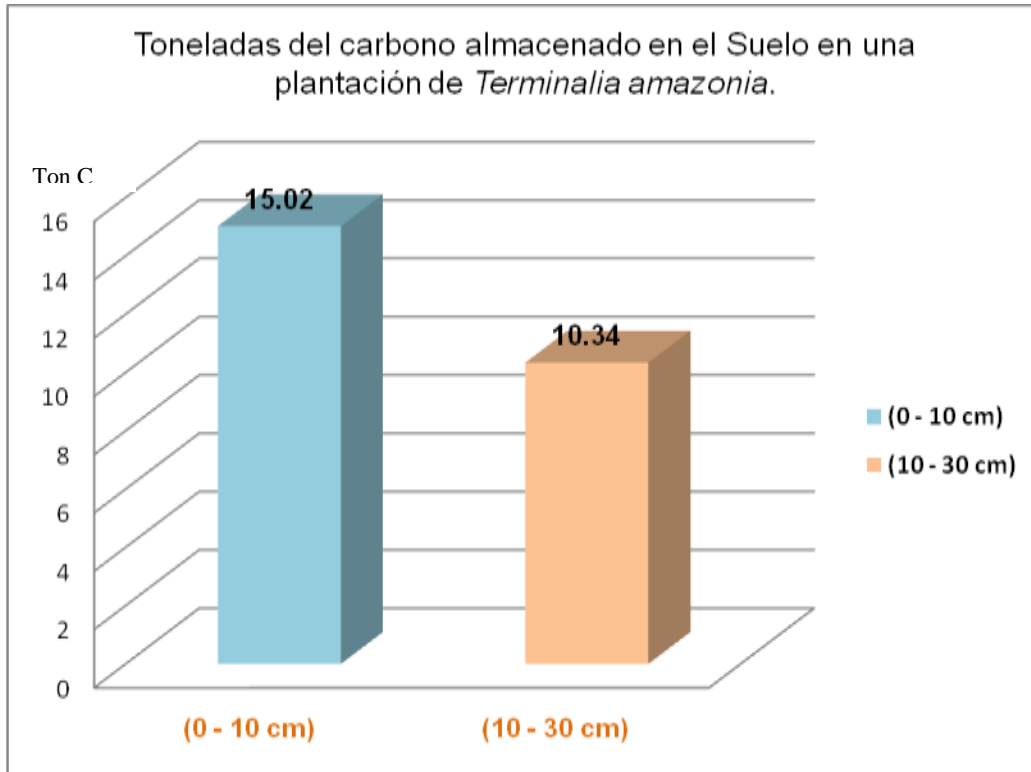
Figura Nº 13. Materia Orgánica Vs. Densidad Aparente en P₂ (10 – 30 cm).



4.2 Determinación del Carbono presente en la Materia Orgánica

Se determinó el contenido de carbono contenido en la materia orgánica para ambas profundidades, figura nº 14, se registra un mayor contenido de carbono en P₁ (0-10 cm) a esta profundidad la capa superficial del suelo contiene un mayor contenido de materia orgánica por la mineralización de las hojarascas.

Figura nº 14. Toneladas de carbono almacenado en el suelo en una plantación de *Terminalia amazonia* en la Finca Madera Fina.

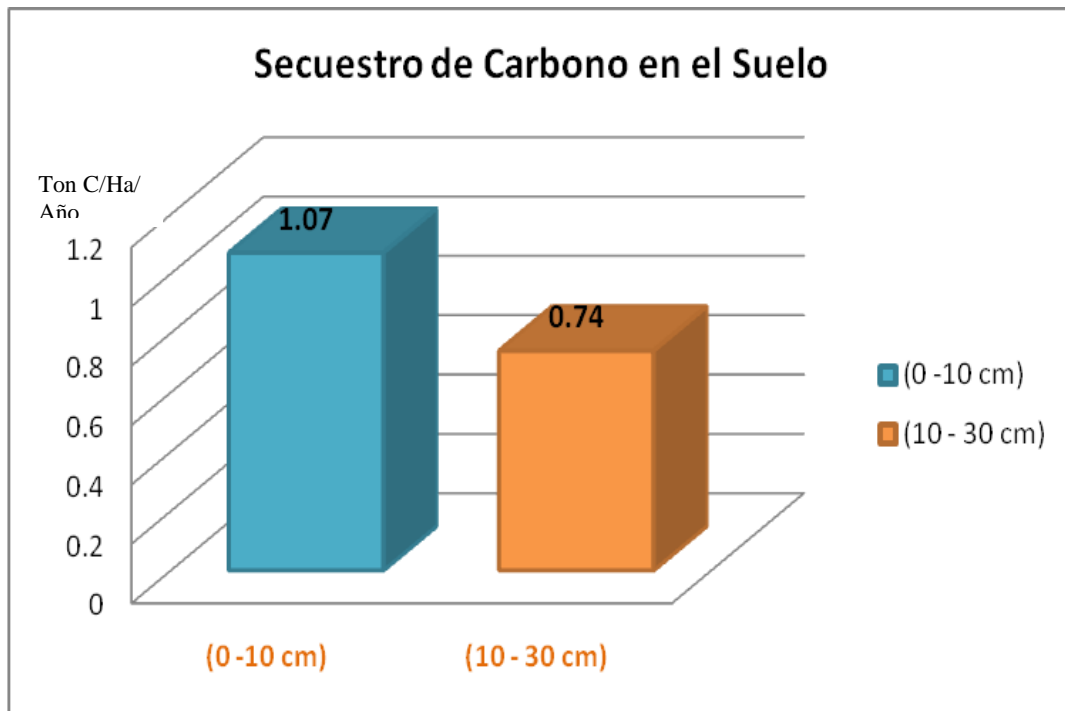


Por lo tanto, en los primeros 10 cm de suelo se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica, y esta disminuye al aumentar la profundidad en el suelo. Además esta diferencia se traduce en 2.73 % de carbono en P₁ (0-10 cm). Es por eso que en los primeros centímetros de suelo crece la mayoría de las raíces y las concentraciones de humedad, aireación y temperatura más adecuadas para los organismos, por lo tanto, se genera mayor cantidad de materia orgánica.

4.3 Secuestro del Carbono en el Suelo (TCh⁻¹)

Los contenidos de carbono en el suelo promedio, figura 13, para una plantación de Amarillo (*Terminalia amazonia*), reportó en la profundidad P₁ 15.02 tCh⁻¹, aportando por año 1.07 tCh⁻¹, y en la profundidad P₂ 10.34 tCh⁻¹, aportando por año 0.74 tCh⁻¹.

Figura nº 16. Secuestro de Carbono en el Suelo de una plantación de Amarillo (*Terminalia amazonia*) por año.



Se puede señalar que a partir de la materia orgánica, principalmente por la mineralización, la plantación de Amarillo aportó al suelo aproximadamente 15.02 tC/Ha en un periodo de 14 años a partir de su establecimiento. Partiendo de este valor, el suelo bajo la plantación de Amarillo almacena anualmente 1.07 tC/Ha/año a una profundidad de P₁ (0 – 10) cm.

V. Conclusiones

- El contenido de carbono Orgánico que se encontró almacenado en el suelo en una plantación de Amarillo (*Terminalia amazonia*), con una edad de 14 años fue de 15.02 tC/Ha; y aportando anualmente 1.07 tC/Ha/año, siendo así el Amarillo (*Terminalia amazonia*) un árbol que aporta carbono al suelo.
- El Amarillo (*Terminalia amazonia*) es una especie que aporta carbono al suelo, la cual puede ser utilizada para plantaciones con fines de cuantificar el carbono.

VI. Recomendaciones

- Se recomienda realizar análisis precisos de la biomasa de los árboles plantados, con la finalidad de que se genere la suficiente información propia dentro de la especie estudiada y otras, en donde se determine la fracción de carbono de cada especie en el tiempo.

- El proceso de captura del CO₂ es continuo dentro de la masa forestal en la finca analizada, será conveniente realizar estudios no solo de esta especie sino de las otras que componen la finca para determinar el carbono que aporta cada una de las especies plantadas.

- Es conveniente realizar estudios de la mineralización del carbono almacenado en los residuos vegetales del Amarillo (*Terminalia amazonia*) para tener un mejor detalle del carbono almacenado por esta especie.

VII. Referencias Bibliográficas

ACOSTA, M., QUEDNOW, K.; ETCHEVERS, J.; MONREAL, C. 2001. Un Método para la Medición del Carbono Almacenado en la Parte aérea de Sistemas con Vegetación Natural e Inducida en Terrenos de Ladera en México. INIFAP. Colegio de Postgraduados, México DF.

ALFARO, M.M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en Ecosistemas Forestales. Revista Forestal Centroamericana (C.R.) 6 (19): 19 – 12.

ALVARADO, M.; ROJAS G.. 1998. El Cultivo y Beneficiado del Café. Editorial Universidad Estatal a Distancia. 1era Edición. San José Costa Rica. 160 p.

ANAM. 2000. Primera Comunicación Nacional. Cambio Climático. Pan. 77 p.

BURBANO, ORJUELA, H. 1989. El Suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos, pastos. Universidad de Nariño 447 p.

CATIE. 1997. Árboles del Trópico. Turrialba, Costa Rica. 50 p.

CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. 2002-2003. ESTADÍSTICA Y CENSO. Estadística Panameña. Situación Física - Meteorología. 57 p.

CUBERO, J.; ROJAS, S. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de Melina (*Gmelina arborea*), Teca (*Tectona grandis*) y Pochote (*Bombacopsis quinata*) en los cantones de Hojanca y Nocoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Licenciatura

en Ciencias Forestales con concentración en Manejo Forestal, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional, Heredia, C.R. 95p.

IICP. 1996. Directrices del IICP para inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Versión revisada en 1996. Libro de trabajo. J.T. Houghton; L.G. Meira Filho; B. Lim; K. Treanton; I. MAmaty; Y. Bonduky; D.J. Griggs y B.A. Callender (Eds). México, D.F., S.n. 58 p.

INSTITUTO NACIONAL GEOGRÁFICO TOMMY GUARDIA. 1978. Atlas de la República de Panamá. 3 ed. Panamá, República de Panamá. 222 p.

LOHMANN, L. 2000. El Mercado del Carbono: Sembrando más problemas. Movimiento mundial por los bosques tropicales. Montevideo. Mru 31 p.

LOZAN, J.; HAPFER, P.; GRAL, A. 2000. El Clima del siglo XXI: Introducción al problema del clima, más protección climática - menos riesgos para el futuro. 2da ed. Hamburgo, Alemania. 19p.

SALAS, G. DE LAS. 1997. Suelos forestales y ecosistemas forestales con énfasis en América Tropical. IICA, San José, C.R. 450 p.

SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis* en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Tesis Licenciatura. Heredia, C.R. 147 p.

SUAREZ, D.; SEGURA, M.; KANNINEN, M. 2004. Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos. Presentado en: Revista

Agroforestería de las Américas N° 41-42 2004. (CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.)

DOCUMENTOS DE INTERNET

ESPINOZA, YUSMARY. 2005. Secuestro de Carbono en el Suelo: Recursos Agroecológicos INIA – CENIAP (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado el 26 de abril de 2006. Disponible en: www.revforiberoamericana.ula.ve/archivo/doc2.pdf.

ENCICLOPEDIA EN LINEA WIKIPEDIA. 2008. Enciclopedia virtual en línea. Disponible en www.wikipedia.com.

FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). 2006. El secuestro de carbono (en línea), Lima, Perú. Consultado el 14 de mayo de 2008. Disponible en www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro.php

GOOGLEEARTH. 2008. Programa de la página web www.googleearth.com el cual se utiliza de localizador de sitios alrededor del mundo.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 1985. Redacción de referencias bibliográficas; normas oficiales del IICA. (en línea). San José, CR, CIDIA. 57 p. Consultado el 7 de junio de 2006. Disponible en: http://orton.catie.ac.cr/bco/normas_de_redaccion.html

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. 2005. Emisiones y Captura de Carbono en México. (en línea). Coyoacán, México D.F. Consultado el 23 de abril de 2006. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/296/cap3.html>.

LAL, R, 1999. Global Carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use. In: Prevention of land degradation,

enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. World soil resources report 86 FAO, Rome p 45 – 52. Consultado el 2 de Marzo de 2008. Disponible en www.fao.org.

PAGIOLA, S.; Y RUTHENBERG, I. (2005) Venta de biodiversidad en una taza de café: el café cultivado a la sombra y conservación forestal en Mesoamérica. (en línea). Instituto nacional de Ecología. Consultado el 31 de mayo de 2008. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/423/cap7.html>

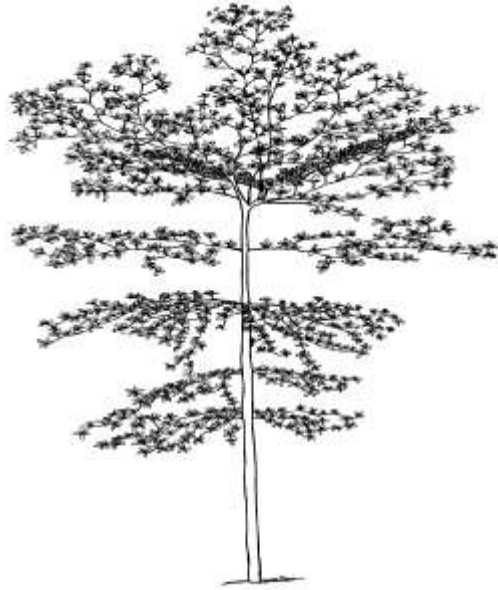
PETROBAS. (Programa de Responsabilidad Social y Ambiental). 2004. Secuestro de carbono. Programa de Responsabilidad Social y Ambiental. Brasil (en línea) consultado el 25 de mayo de 2008. En www.petrobas.com.br.

ROBERT, MICHEL. 2002. Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. (en línea). FAO. París, Francia. Consultado el 23 de abril de 2006. Disponible en: www.fao.org/documentos.

ANEXOS

Anexos N°1.

Arquitectura arbórea del Amarillo (*Terminalia amazonia*)



Muestra vegetativa - floral del Amarillo (*Terminalia amazonia*)



Anexo N°2

Infrutescencia del Amarillo (*Terminalia amazonia*)



Fuste del Amarillo (*Terminalia amazonia*)



Anexo N° 3

Muestreo de Suelo. Para Densidad Aparente



Muestreo de Suelo. Para Materia Orgánica



Anexos N° 4

Cilindros en horno para secado.



Muestras para pesar después de secado.



Anexo N° 5

Peso del cilindro para determinar Densidad Aparente.



Muestras de Suelo para determinar Materia Orgánica.



Anexo N° 6

Secado de las muestras (Materia Orgánica.)



Triturar la tierra (Materia Orgánica.)



Anexos N° 7

Tamizando la tierra.(Materia Orgánica)



Colocar 0.05 gr de suelo (Materia Orgánica.)



Anexo N° 8

Muestras colocadas en el ventilador.



Preparando el blanco para determinar valores para la Materia Orgánica.



Anexo N° 9

Determinando el valor de la Materia Orgánica.



Muestras con la Materia Orgánica ya determinada.



ABREVIATURAS UTILIZADAS

G.E.I.: Gases de Efecto Invernadero

CO₂: Dioxido de Carbono

CATIE: Centro de Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

FONAM: Fondo Nacional del Ambiente

PETROBAS: Programa de Responsabilidad Social y Ambiental

Ppm: Partes por millón

GICC: Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático

OMM: Organización Meteorológica Mundial

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

CER: Certificado de Emisiones Reducidas

IGTG: Instituto Geográfico Tomy Guardia