



## **TESIS EN OPCIÓN AL GRADO DE DOCTOR EN ECOLOGÍA**

**Título: El sector forestal de la península Zapata, en Matanzas, Cuba:  
Aspectos de su interrelación con el cambio climático.**

**Autora: MSc. Osiris Ortiz Álvarez.**

**Directores: Dr. Antonio Escarré Estévez.  
Dr. Arnaldo Álvarez Brito.  
Dra. Alicia Mercadet Portillo.**

**2010**

UNIVERSIDAD DE ALICANTE, ESPAÑA  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO, CUBA  
CENTRO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

PROGRAMA DOCTORAL CONJUNTO “DESARROLLO  
SOSTENIBLE DE BOSQUES TROPICALES: MANEJOS  
FORESTAL Y TURÍSTICO”

### TITULO DE LA TESIS

El sector forestal de la península de Zapata, en Matanzas,  
Cuba: Aspectos de su interrelación con el cambio climático.

Memoria presentada por: MSc. Osiris Ortiz Álvarez para optar  
por el grado de Doctor en Ciencias en Ecología.

Vto. Bno. de los Directores

Dr. Antonio Escarré Estévez  
Dr. Arnaldo Álvarez Brito  
Dra. Alicia Mercadet Portillo

Alicante, 2010.

*A mi pequeño Javier Alejandro, mi inspiración.  
A mi madre y a la memoria de mi querido padre que no pudo ver el resultado final de  
este trabajo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, por el apoyo del día a día y por velar el cuidado de mi pequeño infante mientras me encontraba estudiando y laborando.

A mi tutor de tesis Dr. Antonio Escarré por sus valiosos consejos y orientaciones para la realización de este trabajo. También para mis directores Dr. Arnaldo Álvarez y Alicia Mercadet por su colaboración, sus orientaciones, sugerencias y consejos para llegar a lograr este objetivo.

A todos mis compañeros de la Estación Experimental Forestal de Itabo, por todo el apoyo y ayuda brindados, en especial a la Téc. Lourdes Gómez por su participación en las evaluaciones de campo cuando me encontraba en gestación, a los compañeros Téc. Roberto Ramos e Ing. Luis M. Cruz por la colaboración brindada en los testimonios gráficos.

A los compañeros del Instituto de Investigaciones Forestales, en especial al Doctor Pedro P. Henry, por todas las sugerencias dadas y a la Ing. Esperanza Hidalgo.

A mis compañeros de doctorado, en especial a Elsa María Cordero (IIF), Sonia Rosete y Jacqueline Pérez (IES).

A los compañeros de la EFI Ciénaga de Zapata, Entidad enclavada en el área de estudio, por el apoyo brindado en todo momento, en especial a los compañeros Santana, Giraldo Fagundo, Andria Fuentes y Águedo Cárdenas y los dos técnicos cuyos nombres, error imperdonable, no los retuve, pero que tuvieron participación en la recopilación de datos y muestras para la realización de este trabajo.

A las Universidades de Alicante y Pinar del Río.

Al claustro de profesores que impartieron los cursos lectivos.

A todos los que brindaron el mínimo apoyo, tanto espiritual como material, para la realización, desarrollo y conclusión de este trabajo.

Y sobre todo, un agradecimiento especial a mi pequeño Javier Alejandro, por darme todo el apoyo del mundo con su ternura y cariño: mis disculpas hijo, por no haber estado contigo en los momentos de estar laborando en esta investigación.

***A TODOS, GRACIAS.***

## INDICE

### SINTESIS.

<b>CAPITULO I</b> .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO II</b> .....	14
<b>ANTECEDENTES</b> .....	14
<b>PARTE I: El Cambio Climático, balance de emisiones y escenarios. Aspectos conceptuales y generales. Balance de emisión en Cuba. Características y resultados. Escenarios usados para la PCN y PRECIS en Cuba.</b> .....	14
Cambio climático.....	14
Concepto.....	14
La No linealidad del cambio climático.....	16
Escenarios.....	20
Vulnerabilidad e Impactos.....	22
Las fuentes, los sumideros y el balance de emisiones.....	23
<b>PARTE II. Impactos y adaptación al cambio climático. Conceptos. Resultados del IPCC. Estrategias de adaptación. Impactos esperables en los bosques. La adaptación y el sector forestal cubano. Resultados existentes.</b> .....	24
Impactos.....	24
Incendios.....	31
Ciclones y huracanes.....	33
Impactos negativos de la ocurrencia del CC observados en Cuba y en el mundo.....	34
a) Indicadores de concentración.....	41
b) Indicadores del clima.....	42
c) Indicadores físicos y biológicos.....	43
d) Indicadores económicos.....	43
Veinte conclusiones de la Tercera Evaluación del IPCC sobre el Cambio Climático (2001), de interés para el Sector Agrario.....	45
Conclusiones de la IV Evaluación del IPCC sobre el Cambio Climático (2007). Nivel de conocimiento actual sobre impactos futuros.....	47
a) Impactos por regiones, principalmente en desarrollo.....	47
b) Impactos por sistemas.....	48
Formas para contrarrestar los efectos del cambio climático.....	50
Adaptación.....	50
Avances del sector agrario (subsector forestal cubano) posteriores a la Primera Comunicación Nacional.....	52
<b>Parte III. Mitigación al cambio climático. El cambio climático y los bosques: El ciclo del carbono.</b> .....	53
El ciclo del carbono.....	54
Formas para contrarrestar las causas del cambio climático.....	59
Mitigación.....	59
El Mecanismo de Desarrollo Limpio.....	64
El secuestro de carbono en los bosques: Papel del suelo.....	65
Carbono y suelo.....	67
El CO <sub>2</sub> y los árboles forestales.....	70

La función de los bosques. ....	75
El bosque.....	75
El almacenamiento o secuestro de carbono como objetivo para los bienes y servicios del bosque.....	76
Avances del sector agrario (subsector forestal) posteriores a la Primera Comunicación Nacional. ....	77
Situación de los bosques. ....	78
Situación mundial de los bosques.....	78
Situación de los bosques en Cuba.....	82
 PARTE IV. Breve reseña sobre la relación carbono/ nitrógeno.....	 84
Relación entre la concentración de carbono y la eficiencia fotosintética.....	86
 CAPÍTULO III.....	 88
MATERIALES Y MÉTODOS. ....	88
Caracterización del área de estudio.....	88
Estudio de Impacto y Adaptación.....	94
Estudio de Mitigación: .....	97
Cálculo del carbono retenido en las plantaciones.....	101
Plantaciones establecidas (con 3 ó más años de iniciadas).....	101
Plantaciones en establecimiento (con menos de 3 años de iniciadas). ....	102
Cálculo del carbono retenido en los bosques naturales.....	103
Cálculo del carbono retenido en la necromasa. ....	105
Cálculo del carbono retenido en las áreas por (re)forestar. ....	106
Cálculo del carbono retenido en las áreas inforestales .....	107
Cálculo del total de carbono retenido por la Empresa en el año base. ....	107
 CAPITULO IV.	
RESULTADOS Y DISCUSION .....	113
PARTE I.Caracterización de las principales especies forestales .....	113
Especificidad de respuestas al cambio climático. ....	116
Características de la fotosíntesis, crecimiento y almacenamiento de carbono en la madera, en las principales especies arbóreas del área de estudio. ....	116
<i>Talipariti elatum</i> (Sw.) Fryxell.....	116
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) Benth. ssp <i>latisiliquum</i> .....	121
<i>Rhizophora mangle</i> L.....	126
<i>Calophyllum calaba</i> L.....	132
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sargent.....	136
<i>Caesalpinia violacea</i> (Mill.) Standl. ....	140
<i>Bucida buceras</i> L. ....	144
<i>Terminalia catappa</i> L.....	147
<i>Cecropia schreberiana</i> Miq. ....	151
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin.....	156
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) Gaertn. f.....	160
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L. ....	162
<i>Conocarpus erectus</i> L.....	164
<i>Cedrela odorata</i> L. ....	166
<i>Swietenia macrophylla</i> King.....	168

<i>Albizia saman</i> (Jacq) F. Muell. ....	170
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. ....	172
<i>Casuarina equisetifolia</i> L. ....	174
<i>Gerascanthus gerascanthoides</i> L.....	176
<i>Spondias mombin</i> L. ....	178
<i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.....	180
<i>Sideroxylon foetidissimum</i> Jacq. subsp. <i>foetidissimum</i> .....	181
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.....	183
Impactos del incremento de la concentración de carbono sobre la eficiencia fotosintética. Comportamiento de la fotosíntesis al aumentar las concentraciones de CO <sub>2</sub> . Consideraciones generales .....	185
PARTE II. Impactos.....	190
Impactos esperados debido al aumento del nivel del mar. ....	190
a) Evaluación cualitativa. ....	190
b) Evaluación cuantitativa. ....	197
Impactos causados por la ocurrencia de incendios forestales: Cálculo del carbono contenido en la biomasa afectada.....	201
Estrategia de adaptación.....	210
PARTE III. Mitigación.....	211
Estimado de la biomasa a partir del volumen de madera y Carbono retenido por las plantaciones. ....	211
Plantaciones adultas (mayor 10 años).....	212
Plantaciones jóvenes (entre 3 -10 años).....	217
Estimado de la biomasa a partir del volumen maderable y carbono retenido en los bosques naturales. ....	231
La necromasa y el carbono retenido. ....	239
La necromasa y el carbono retenido por las plantaciones forestales.....	239
Necromasa y carbono retenido por los bosques naturales. ....	243
Estimado de carbono acumulado en el suelo.....	246
Plantaciones adultas.....	248
Plantaciones jóvenes.....	250
Bosques naturales.....	251
Estimado del carbono retenido en las áreas por reforestar.....	253
Cálculo del carbono en las áreas inforestales.....	254
Cálculo del total de carbono retenido por la EFI <i>Ciénaga de Zapata</i> en el año base. ....	256
Primera alternativa de estrategia para la mitigación de los efectos del cambio climático en el sector forestal. ....	258
Valoración económica.....	259
Importancia social de la investigación.....	262
Importancia ambiental.....	262
CONCLUSIONES.....	263
RECOMENDACIONES.....	265
BIBLIOGRAFÍA.....	266
ANEXOS.....	283

## **SINTESIS.**

El calentamiento de la tierra en unos pocos grados durante el transcurso de diversos milenios ha sucedido muchas veces en la historia del planeta sin graves consecuencias, ya que la diversidad biológica ha tenido suficiente tiempo para adaptarse (Sorensen, 1995). Pero en la actualidad la mayoría de los científicos coinciden en que las temperaturas se elevarán a un ritmo demasiado rápido para permitir la adaptación de los ecosistemas; este aumento progresivo de la temperatura, provocado por la acción del hombre, es a lo que se le denomina hoy **CAMBIO CLIMÁTICO** (CC).

Cuba, no está exento de sufrir impactos por el CC, de hecho, la temperatura media ha aumentado  $\frac{1}{2}$  °C con respecto a la media del siglo anterior, aumentando de forma más rápida la temperatura terrestre con relación a la del mar. Se esperan conmociones por el aumento del nivel del mar, y se reportan variación de las lluvias, aumento de la salinidad, incremento e intensidad de los huracanes. Muchos de los pronósticos descritos como consecuencia o causa del CC, han sido identificados a escala nacional (MINAG, 2007), agravados estos por la situación ya existente en el sector agrícola, sección donde se haya implícito el sector forestal, entre los cuales se citan la degradación de los suelos, afectaciones a la cobertura forestal; la contaminación; pérdida de la biodiversidad; carencia de agua, entre otras (MINAG, 2007).

Para el sector forestal cubano se identifican en principio dos tipos de impactos ocasionados por la ocurrencia del cambio climático (Álvarez *et al*, 1998):

1. El aumento del nivel del mar,
2. La frecuencia e intensidad de las lluvias,

Mientras que a partir del 2001, se consideró además la posible ocurrencia de otros impactos (IPCC, 2001) sobre este sector:

3. Aumento de la ocurrencia de incendios forestales.
4. Reducción de las formaciones boscosas.

Según referencias del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) constituyen los estados insulares y las zonas costeras bajas las de mayor riesgo por el aumento del nivel del mar. Por tal motivo, Cuba, como



país insular, sobre todo en el sector forestal, ha identificado entre las zonas de riesgo la Península de Zapata, enclavada en la provincia Matanzas, por constituir una zona costera de bajas altitudes.

La provincia Matanzas, constituye la tercera región del país con cobertura boscosa al término del 2006, concentrando en ella la mayor cantidad de bosques naturales (segundo lugar) fundamentalmente en la Ciénaga de Zapata (81% de los bosques naturales de la provincia y 14% de los bosques naturales del país) (Diago, 2007). Esta península representa el mayor humedal del Caribe Insular con una acentuada diversidad biológica. Sin embargo debido a su condición de humedal y escasas pendientes, esta región sureña constituye una de las de mayores riesgos debido al aumento del nivel del mar. A pesar de esta situación se carece, en esta región, de una evaluación sobre la interrelación del sector forestal con el cambio climático (**PROBLEMA**), en correspondencia con ello se plantea como **objetivo general**, determinar el grado de incidencia del cambio climático y la capacidad de retención de carbono sobre la cobertura boscosa del mayor humedal del Caribe Insular mediante la determinación de los impactos esperables en las áreas de la EFI *Ciénaga de Zapata*, y formular una primera alternativa como estrategia de adaptación y mitigación para contrarrestar tal efecto. Para ello se realizó un estudio de **Impacto y Adaptación**, tomando los escenarios IS92A del IPCC (1995) e Instituto de Oceanología (Cuba, 2006) teniendo en cuenta que uno prevé los mayores y otro los menores valores de elevación del nivel mar para el país; se realizó el cálculo de los impactos ocasionados por los huracanes para lo cual se convirtió en masa el volumen perdido por la destrucción o caída de los árboles; se realizó el cálculo del impacto relacionado con el carbono liberado por los incendios forestales ocurridos desde el 2001 hasta el 2007 empleando dos metodologías: la primera, elaborada por Mercadet y Álvarez (2006) y la segunda, por el método de Herbert citado por Cuerpo de Guardabosques de Cuba (2006). Se determinó el impacto del incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis de algunas especies forestales empleando para ello el equipo LI-6400. Se realizó un estudio de **Mitigación** aplicando una primera metodología donde se utilizó el Factor de Contenido Medio de Carbono, utilizado a escala internacional, y una segunda metodología

(propuesta por Mercadet y Álvarez, 2005), donde se empleó el coeficiente de carbono medio determinado para las maderas cubanas.

Los resultados obtenidos en cuanto al impacto ocasionado por el aumento del nivel del mar, notifican que, para el año 2100 los impactos negativos ocasionarán considerables daños (sobre todo en aquellos lugares con pendiente igual o inferiores a 0.08%, al afectarse incluso áreas de vegetación boscosa no inundadas que se encuentran hacia zonas interiores por el aumento considerable de las ciénagas, canales y lagunas.

Respecto al impacto ocasionado por la incidencia de los incendios forestales, ambas metodologías coinciden en reportar que 8% de las emisiones ocurren en los bosques naturales.

Con relación al impacto ocasionado por el incremento de CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis, se denotó que los ejemplares arbóreos estudiados mostraron de forma general, una tendencia directamente proporcional entre el proceso fisiológico y la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, aunque ocurrieron diferencias en la respuesta adaptativa a nivel inter e intraespecífico frente al incremento de las concentraciones de este GEI, lo cual evidencia que cada especie y cada individuo presenta su propio comportamiento ante el cambio climático.

Con relación a los estudios de mitigación, en las plantaciones adultas se destacan las especies *Casuarina equisetifolia* y *Calophyllum calaba* con los mayores estimados de carbono retenido; en las plantaciones jóvenes, sobresalen *Casuarina equisetifolia* y *Colubrina arborescens*. Teniendo en cuenta el contenido de carbono en corteza, *Cupania glabra* (guara); *Mastichodendrum foetidissimum* (jocuma) y *Tabebuia angustata* (roble) presentaron los mayores valores porcentuales, sin embargo en la madera *Tabebuia angustata* (roble); *Oxandra lanceolata* (yaya) y *Nectandra coriacea* (sigua) registraron los niveles más altos.

Considerando la eficiencia en el uso del nitrógeno, indicador de los gramos de materia seca capaz de ser producido por cada gramo de N<sub>2</sub> absorbido, lo cual constituye un indicador del carbono retenido por cada gramo de N<sub>2</sub> absorbido, *Eugenia buxifolia* produjo la mayor cantidad de materia seca (457,46 g), seguida por *T. tilaceum* y *L. latisiliquum*. Respecto a la cantidad de carbono retenido atendiendo al N<sub>2</sub> absorbido, *Cupania glabra* (416,04 g) registró los

acumulados superiores, indicando que constituye un ejemplar con una notable superioridad en la eficiencia de la utilización del nitrógeno. Mediante la utilización de los cocientes carbono – nitrógeno (C/N) de las especies *Eugenia buxifolia*, *Lysiloma latisiliquum* y *T. elatum* mostraron elevada capacidad para secuestrar carbono por cada unidad de N<sub>2</sub> empleado.

En los bosques naturales la formación boscosa los bosques semicaducifolios sobre mal drenaje y la categoría manejo especial presentaron los mayores valores en biomasa y carbono retenido por hectárea.

En los estimados del carbono presente en los suelos, en las plantaciones *R. mangle* constituye el ejemplar arbóreo de máximos valores, representando 61.40% del carbono retenido en el suelo por estas. Los resultados obtenidos a escala de laboratorio, reportan que en suelos de mal drenaje donde se sustentan plantaciones de *C. equisetifolia* y *T. elatum* es retenido por la primera 4.3% a 5.27% y por la segunda 12.17% a 17.55%. El carbono retenido en el sustrato representa entre 97.74% del carbono retenido total por hectárea (I metodología) a 96.84% (II metodología). El carbono retenido en los suelos Ferralítico Cuarcítico Amarillento oscila entre 0,1685 % a 0,26%, valores obtenidos a escala de laboratorio. En suelos de los bosques naturales, se retiene la mayor proporción en los semicaducifolios sobre caliza y los productores.

Las áreas por reforestar muestran un estimado entre 53.00 MgCO<sub>2</sub>/ha a 66,28 MgCO<sub>2</sub>/ha de carbono retenido total.

En las áreas inforestales se preserva 42.87 Mg/ha de carbono retenido en la biomasa. Las zonas cenagosas concentraron una superior cantidad de carbono con relación al resto de las categorías.

Pero a pesar de encontrarse retenidas tales unidades de carbono, EFI *Ciénaga de Zapata* en el período 2001 al 2007 redujo paulatinamente sus áreas boscosas, siendo el 2002 y 2005 los años más marcados, aspecto influenciado por la incidencia de talas e incendios forestales, por ello necesitará 15 años para cubrir su patrimonio.

La valoración económica de tales recursos naturales y servicios ambientales constituye un tema que posee suma relevancia en la práctica internacional actual y su clasificación depende del criterio que se elija. Tomando como base la referencia de que 1 m<sup>3</sup> de madera dura y/o semidura equivale a un valor de

100 \$ y 80 \$ respectivamente, aplicando el principio de **beneficio bruto** (Gloria, 2001), conociendo además, las pérdidas a tener por la entidad, se infiere que para el 2100 el costo monetario oscilará entre 8946254.40 \$- 11182818.00\$ (según escenario descrito por el Instituto de Oceanología de Cuba) a 10116256.00 \$- 12645321.00\$, (según escenario IS92-A). Tomando como base el supuesto económico que 1 t de carbono equivale a 10 USD, y los reportes ofrecidos en el año 2006, así como el carbono retenido, la entidad registrará un total de 30413.20 USD; aplicando el método establecido por Gloria (2001) la EFI tendrá 18119.20 \$ a 22649.00 \$ como valor monetario de las toneladas de carbono retenidas en ese año.

## CAPITULO I.

### INTRODUCCION

El calentamiento de la tierra en unos pocos grados durante el transcurso de diversos milenios ha sucedido muchas veces en la historia del planeta sin graves consecuencias, ya que la diversidad biológica ha tenido suficiente tiempo para adaptarse (Sorensen, 1995). Pero en la actualidad la mayoría de los científicos coinciden en que las temperaturas se elevarán a un ritmo demasiado rápido para permitir la adaptación de los ecosistemas; este aumento progresivo de la temperatura, provocado por la acción del hombre, es a lo que se le denomina hoy **CAMBIO CLIMÁTICO** (CC).

Tal calentamiento ha sido inducido por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera por el hombre, ocasionando un **Efecto Invernadero Intensificado** (EII) y aunque el efecto invernadero es un fenómeno natural sin el cual la temperatura media del planeta estaría por debajo de 0 °C según Sorensen (1995) o unos 30 °C inferior a la actual (FAO, 1994), lo preocupante es la rapidez con que se producirá el cambio climático, más que la posible magnitud de la totalidad de los cambios inducidos por el hombre (Sorensen, 1995).

El calentamiento durante el siglo XX no fue uniforme en el planeta, siendo este mayor sobre la latitud media continental en invierno y primavera, existiendo también áreas frías. En adición a los cambios de temperatura, también han ocurrido cambios en otros parámetros climáticos; las precipitaciones también han sido variables siendo éstas mayores sobre las tierras de las altas latitudes del hemisferio septentrional, demostrándose así, la No linealidad del cambio climático (Houghton, 1997).

Los cambios son estimulados fundamentalmente por las intervenciones humanas. La sobre-explotación o el manejo inadecuado de los recursos naturales desde inicios de la Revolución Industrial, han traído consigo una serie de problemas ambientales tales como (MINAG, 2007):

- La degradación de los suelos.
- El deterioro del saneamiento y las condiciones de vida en los asentamientos humanos.
- La contaminación de las aguas terrestres y marinas.
- La deforestación.
- La pérdida de la diversidad biológica.
- La contaminación atmosférica.
- La carencia de agua.

Tan es así que en Cuba solamente, los procesos erosivos afectan más de 4 millones de hectáreas, el alto grado de acidez alcanza a 1,7 millones de ha, la elevada salinidad y sodicidad tiene influencia en alrededor de 1 millón de ha, la compactación incide sobre unos 2 millones de ha, los problemas de drenaje alcanzan 2,7 millones de hectáreas y en definitiva, el 60 % de la superficie del país se encuentre afectada por estos y otros factores que pueden conducir a los procesos de desertificación. Muchas de estas áreas están afectadas por más de un factor a la vez. (MINAG, 2007).

Se plantea según FAO (2003) que durante el 2002, a nivel internacional

- el 40 % de los suelos agrícolas están erosionados.
- el 20 % de la población mundial no tiene agua potable.
- el 80 % de los bosques se encuentran degradados
- el 40 % de los suelos del planeta están sometidos a la desertificación.

El deterioro de la diversidad biológica está muy ligado a procesos sociales complejos, dándose generalmente en comunidades estrechamente vinculadas a las áreas protegidas, ocasionado por el uso inadecuado de los recursos naturales, lo cual provoca problemas de carácter global que se manifiestan con mayor intensidad en dichas áreas, afectando la conservación de la biodiversidad; entre ellos se destacan el uso de la tierra, la erosión y pérdida de la fertilidad de los suelos, la desertificación y la

deforestación, la pérdida de diversidad y la erosión genética en los cultivos (Arayara, 1997).

A esto se suma el inadecuado Orden Económico Internacional existente, donde los países desarrollados, que constituyen menos del 20 % de la población mundial, utilizan el (FAO, 2003):

- 80 % de los recursos naturales.
- 60 % de toda la energía terrestre emitiendo el 80 % de los desechos peligrosos; por ejemplo en EUA (el principal importador), una persona consume 8 t/año de petróleo y emite 10 veces más CO<sub>2</sub> que un ciudadano en América Latina.

Los bosques tropicales desaparecen a un ritmo cada vez mayor. A todas estas situaciones provocadas fundamentalmente por la acción del hombre (se plantea que es el causante del 50 % del calentamiento global), se suma la tendencia del aumento de los fenómenos atmosféricos, añadiéndosele la ocurrencia de tres eventos fundamentales como son El Niño, La Niña y el agujero en la capa de ozono, este último ocasionado por el incremento en la atmósfera de un grupo de gases tales como los fluoroclorocarbonatos, emitidos entre otros, por los sistemas de refrigeración.

Un aumento del carbono atmosférico y temperaturas más elevadas (primer elemento del CC) provocarán que ambientes naturales de muchas especies arbóreas se extiendan a mayores latitudes y altitudes. Sin embargo, los bosques sujetos a ello estarían más expuestos a los daños por incendios, la contaminación, daños por plagas y enfermedades y reducción de la variación genética, quedando sólo los genotipos más resistentes, pudiendo perderse grandes áreas de bosques e incluso especies, así como ocurrir una disminución en los rendimientos de las mismas (Sorensen, 1995).

Según el IPCC (2007b), en los últimos años del siglo XX se registraron los períodos más cálidos del planeta en la historia (1990, 1995, 1997, 1999, 1999 hasta el 2007).

La temperatura media en Cuba ha aumentado ½ °C con respecto a la media del siglo anterior, aumentando de forma más rápida la temperatura terrestre con relación a la del mar.

Este aumento térmico, se espera que para el siglo XXI, sea mayor en las latitudes más altas hacia el norte del planeta. Por ello se proyecta que para los estados insulares, ocurrirán deterioro de las condiciones costeras por erosión de las playas o blanqueamientos de los corales, afectándose recursos locales y reduciéndose valores turísticos. (IPCC, 2007).

Con relación a este punto, se ha denotado en Cuba (sobre todo en la ensenada de Broa, Golfo de Batabanó), una acidificación de los mares debido al aumento de la concentración de carbono, lo cual provoca una disminución del pH marino que conduce a una acidificación y con ello impactos negativos sobre los arrecifes coralinos, caracoles, ostras, calamares, almejas y estrellas marinas. (Estévez, 2008).

Otros impactos a esperar en los estados insulares, es el aumento de las inundaciones debido al acrecimiento del nivel del mar, surgimiento de tormentas, erosión amenazando la infraestructura y asentamientos costeros; la disminución, a mediados de siglo, de los recursos hídricos a tal grado que serán insuficientes para satisfacer la demanda en la temporada de sequía. Con el aumento de las temperaturas, se espera que ocurra una invasión creciente de especies no nativas, principalmente en las islas medianas y de altas latitudes como Cuba.

Muchos de estos pronósticos, actualmente han sido identificados a escala nacional (MINAG, 2007). Para el sector agrícola, sección donde se haya implícito el sector forestal se encuentran:

- Degradación de los suelos: El área afectada por erosión media y fuerte en el país asciende a 2,9 millones de ha, alcanzando el grado de acidez alrededor de unas 2,7 millones de ha; respecto a la salinidad, existe un área potencial salinizable de 2.1 millones de ha, de las cuales 1 millón , presenta salinidad en distintos grados; la compactación incide sobre 1,6 millones de ha, los problemas de drenaje alcanzan 2,7 millones de ha esto significa que ,el 76.8 % de las tierras productivas de Cuba están afectadas por uno o varios procesos de degradación que pueden conducir a la desertificación. Estas áreas se encuentran afectadas por factores de carácter natural o



antrópico acumulados en el transcurso de los años, con una marcada preponderancia de los segundos, aunque en los últimos años se han intensificado procesos naturales como la sequía y la incidencia de huracanes, con las consiguientes inundaciones, pérdida de los suelos y movimiento en masa, que están incidiendo en su deterioro.

- Afectaciones a la cobertura forestal: Durante el año 2005, Cuba contaba con un índice de boscosidad de 24,95 %, aunque aún persisten las secuelas de años de explotación irracional extinguiéndose prácticamente los más valiosos recursos forestales.

Los incendios forestales son la causa mayor de afectación a los bosques. La mayoría de los incendios en las áreas rurales, se inician en potreros, campos de caña y cultivos agrícolas, los que finalmente llegan a los bosques y los afectan.

Persisten también problemas con la calidad de la mayoría de la floresta natural, como consecuencia del inadecuado manejo y explotación en etapas anteriores, sobre todo en las cuencas hidrográficas más importantes, así como dificultades con las fuentes semilleras del país, que no cumplen con las expectativas de producción y calidad. Existen además, afectaciones producidas por la no actualización de la ordenación forestal, el insuficiente tratamiento silvícola e insuficiencias y deficiencias de los planes de manejo.

Las fajas hidro-reguladoras de ríos y embalses, aunque han recibido atención en los últimos años, todavía no se encuentran totalmente forestadas.

La supervivencia de las plantaciones y el logro de árboles adultos han mejorado sustancialmente, pero aún los valores alcanzados son bajos y distan de los niveles deseados; así como es insuficiente la gama de especies forestales utilizadas para toda la actividad forestal, incluida la reforestación de las fajas hidrorreguladoras.

Constituyen igualmente problemas preocupantes, el bajo aprovechamiento de la biomasa derivada de los aprovechamientos forestales y el incremento de la erosión provocada por este proceso; así como la presencia de especies de plantas invasoras en algunos bosques.

- Contaminación.

- Pérdida de la biodiversidad biológica: Las causas principales agrarias que han incidido sobre esta afectación en Cuba son:

- ➔ el cambio de uso del suelo y el empleo de prácticas inadecuadas de cosecha y preparación de los suelos para la agricultura.
- ➔ Sobreexplotación de los recursos forestales.
- ➔ Degradación y contaminación del suelo y las aguas.
- ➔ Introducción de especies exóticas invasoras que sustituyen o afectan el funcionamiento de los ecosistemas y especies nativas.
- ➔ Insuficientes mecanismos regulatorios y de control para prevenir y sancionar actividades ilícitas como la caza furtiva
- ➔ Incendios forestales.
- ➔ Efectos negativos de elementos meteorológicos
  - Carencia de agua: En el deterioro de la calidad, carestía y falta de disponibilidad del recurso para todos sus usos, incluyendo el riego influyen otros elementos naturales y antrópicos, tan diversos y complejos en su interrelación como la contaminación; los déficit de cobertura boscosa; la no siempre adecuada planificación, uso y ordenamiento; la salinización; el empleo de tecnologías inadecuadas; el escaso re-uso y reciclaje del agua; el mal estado de las redes hidráulicas de distribución; así como la insuficiente cultura de ahorro y uso racional. Todo ello, ha afectado su actual disponibilidad para el uso agrícola, lo que ha motivado la falta de agua para el riego y para el manejo inadecuado de la ganadería entre otros (MINAG, 2007).

Para el sector forestal cubano se identifican en principio dos tipos de impactos ocasionados por la ocurrencia del cambio climático (Álvarez *et al*, 1998):

1. El aumento del nivel del mar, donde la formación boscosa que se afecta es el manglar con un impacto de nivel medio que provocará principalmente variaciones de su superficie y composición, pudiendo llegar a desaparecer debido a que las especies no puedan soportar dicho aumento.

2. La frecuencia e intensidad de las lluvias, siendo la formación de bosques semicaducifolios sobre caliza (Sf-c) la más afectada, con un impacto de nivel entre intenso y medio que provocaría modificaciones en los rendimientos de madera.

Mientras que a partir del 2001, se consideró además la posible ocurrencia de otros impactos (IPCC, 2001) sobre este sector:

3. Aumento de la ocurrencia de incendios forestales.

4. Reducción de las formaciones boscosas.

Siendo los impactos de mayor incidencia sobre la Península de Zapata, provincia Matanzas el primero y tercero. El primero por las bajas pendientes del terreno y por tener 75% de su territorio provisto de zonas permanente y/o parcialmente inundadas.

En Cuba, ocurren conmociones por el aumento del nivel del mar, incremento de la temperatura, variación de las lluvias, aumento de la salinidad e incremento de los huracanes.

Teniendo en cuenta que los árboles, como todas las plantas verdes, utilizan CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, se propone la reforestación como medio de contrarrestar el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, pues ellos son capaces de contener alrededor del 75 % del carbono natural presente en los ecosistemas (Sarre, 1994a) y aunque el balance de remoción-emisión es mayor cuando se desarrollan (la absorción es mayor en los primeros años, decreciendo a medida que alcance su madurez), siempre continúan removiendo este gas y con el tiempo actúan como almacén de carbono y por ello se les considera una vía factible para la **mitigación temporal**, pues el carbono contenido es una porción no emitida a la atmósfera.

Cuando los árboles mueren o se cortan, una porción de este carbono almacenado como tejido leñoso se vuelve a liberar, pero dicha fracción varía según el producto elaborado a partir de éste y según la eficiencia de los procesos de transformación y aprovechamiento utilizados; por ejemplo: si se quema el árbol como leña, se libera una considerable parte del carbono inmovilizado, pero si se convierte en un producto

duradero con uso prolongado (mobiliario) un mayor segmento del carbono permanece retenido durante largo tiempo.

En correspondencia con todo lo anteriormente planteado y atendiendo que la provincia Matanzas, constituye una de las de mayores riesgos debido al aumento del nivel del mar, siendo la tercera provincia del país con cobertura boscosa al término del 2006, para al término del 2008 constituir la región de mayor patrimonio forestal (15%) (Álvarez, 2009) concentrando en ella la mayor cantidad de bosques naturales (segundo lugar) fundamentalmente en la Ciénaga de Zapata (81% de los bosques naturales de la provincia y 14% de los bosques naturales del país) (Diago, 2007) y que esta península se caracteriza por presentar escasas pendientes del terreno y constituye el mayor humedal del Caribe Insular con una acentuada diversidad biológica, se plantea como **PROBLEMA** la carencia, en esta región, de una evaluación sobre la interrelación del sector forestal con el cambio climático.

Esta investigación centra su **objeto** en el ecosistema forestal de la Península Zapata; constituyendo el **campo de acción** las formaciones boscosas específicas de los bosques naturales tales como manglar, semicaducifolio sobre caliza, semicaducifolio sobre mal drenaje y uveral; así como las especies que conforman las plantaciones.

Atendiendo al problema científico abordado anteriormente se plantea como **hipótesis** que si se realiza un estudio evaluativo del grado de impacto que sufrirá el ecosistema forestal y la capacidad de retención de carbono a nivel específico/formación boscosa, se podrán establecer estrategias de adaptación y mitigación que permitirán atenuar los daños y/o influencia del cambio climático sobre el recurso bosque.

La realización de este trabajo persigue como **objetivo general**, determinar el grado de incidencia del cambio climático y la capacidad de retención de carbono sobre la cobertura boscosa, y de esta manera establecer estrategias de adaptación y mitigación que permitirán atenuar los efectos del CC sobre la cobertura forestal del mayor Humedal del Caribe Insular, y como **objetivos específicos**:

- Ø Determinar el impacto esperable por el aumento del nivel del mar en las áreas de la EFI *Ciénaga de Zapata*.
- Ø Determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> causados por incendios forestales.
- Ø Determinar el impacto esperable sobre el comportamiento fotosintético de algunas especies forestales arbóreas existentes en el área de la Empresa, debido al aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico y valorar su importancia para el manejo silvícola.
- Ø Formular una estrategia de adaptación para contrarrestar tal efecto.
- Ø Determinar el carbono retenido por las áreas del patrimonio forestal definiendo la línea base para así establecer a partir de él, una primera alternativa para la mitigación de los efectos del cambio climático para la Empresa.

Esta investigación tiene gran **actualidad**, pues desde el comienzo de la década del 90 la comunidad científica internacional ha dado a conocer la ocurrencia de alteraciones en los regímenes de temperatura y otras variables climáticas y ambientales, alertando a los gobiernos sobre la urgencia de la toma de medidas para contrarrestar tales fenómenos, por el peligro que entrañan para la vida en el planeta, lo que ha tenido sus más recientes exponentes en los informes presentados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) y por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2007), considerando este último al cambio climático como la principal amenaza del siglo XXI para la humanidad.

Desde principios de esa década Cuba se involucró en acciones referentes al CC al firmar y ratificar el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, identificándose actualmente entre los posibles impactos esperables en el sector forestal cubano (Álvarez, 2008):

- Pérdida de especies, de diversidad biológica, cambios en la composición de especies y en sus patrones fenológicos, debidos al aumento gradual de las temperaturas, al aumento del nivel del mar y a la reducción de las lluvias, eventos asociados con el auge de eventos climáticos extremos como la desertificación y la

sequía, así como con el aumento de los tenores salinos en los acuíferos subterráneos del país, mayormente abiertos.

- Aumento del riesgo de incendios forestales, por el incremento de la acumulación de necromasa en los bosques y de su nivel de inflamabilidad, debido al aumento de la temperatura y la reducción de las lluvias.
- Severas y sucesivas alteraciones ecológicas, debidas al aumento en intensidad y frecuencia de los huracanes tropicales.

Todos estos factores, entre otros, tienen una marcada influencia sobre la cobertura boscosa y la diversidad biológica, con un ritmo *in crescendo* de pérdida de la misma; siendo el municipio Ciénaga de Zapata (el mayor Humedal del Caribe Insular y altamente conocido por su gran endemismo), una de las regiones de mayor riesgo, los cuales pueden causar impactos irreversibles si no se toman acciones al respecto. Es por ello que este estudio reviste una gran importancia al dejar esclarecido cualitativa y cuantitativamente los impactos a esperar y establecer estrategias de adaptación y mitigación para el territorio, lo cual conllevará a la conservación del recurso bosque, disminuyendo de esta manera los daños o alteraciones al ecosistema, profundizando en el conocimiento de la influencia del CC para el ente forestal.

La **novedad científica** radica en establecer por primera vez una estrategia de adaptación y mitigación para los bosques naturales de la Ciénaga de Zapata, haciendo adecuaciones de las directrices del IPCC para los inventarios de CO<sub>2</sub>, además se muestra una respuesta a escala fotosintética de algunas especies arbóreas frente a la fertilización de carbono atmosférico.

El **aporte teórico** de esta investigación radica en que para establecer la estrategia de mitigación frente al cambio climático para una empresa forestal cubana, se emplearon por primera vez adecuaciones específicas para el país (Mercadet y Álvarez, 2006) de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de GEI en la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (IPCC, 2006). Además se muestra la respuesta a

escala fotosintética, de algunas especies arbóreas, frente a una *fertilización* de carbono atmosférico.

La determinación de las estrategias de adaptación y mitigación para la Empresa constituyen el principal elemento de **significación práctica** de la tesis, al formular una nueva estrategia de gestión empresarial en el plano silvícola para reducir las influencias negativas a esperar producto al cambio climático y aprovechar las positivas, con un marco de acción a corto, mediano y largo plazos, constituyendo la base para la modificación e implementación de su proyecto de ordenación forestal y alentar iniciativas para la creación de proyectos forestales susceptibles de ser valorados en la alternativa del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto.

Los **métodos** empleados en esta investigación y que posibilitaron la conclusión de esta tesis doctoral fueron dentro de los empíricos el de medición, este método dominó en la primera fase de la investigación. También se trabajó utilizando dentro de los métodos teóricos el hipotético – deductivo, este es un método propio de las investigaciones cuantitativas, permite experimentar, medir y observar los hechos para posteriormente crear una hipótesis que predice el comportamiento de estos y dar las conclusiones al respecto; este método predomina fundamentalmente en la segunda etapa de la investigación, es decir se plantea una hipótesis y se comprueba si esta se cumple dando una respuesta de forma dialéctica y sintética.

Los **resultados esperados** de esta tesis son la valoración de los impactos esperables del cambio climático sobre el recurso forestal de la Empresa, la estimación del nivel de retención de carbono por este recurso y a partir de ambos elementos, la formulación de las estrategias para la adaptación y mitigación al cambio climático. El empleo de ambas estrategias permitirá realizar un manejo integral, así como un plan de ordenación acorde a los supuestos esperados de los recursos existentes en las áreas que abarcan el patrimonio forestal.

Los **beneficios económicos** esperados de la presente investigación se derivan en primer lugar, de la reorientación que la estrategia de adaptación permite dar al proyecto de ordenación forestal de la Empresa, permitiendo así minimizar los impactos negativos sobre sus bosques y con ello, las pérdidas materiales y económicas asociadas, mientras que en segundo lugar, la estrategia de mitigación acomete la estimación de la magnitud que puede alcanzar el servicio ambiental de los bosques que hasta hoy no está aún contemplado en la gestión económica de la Empresa, pero cuyos resultados constituyen entonces precursores de tal objetivo.

Los **beneficios ecológicos** están enfocados de forma directa al cuidado y protección de la flora e indirecta de la fauna, pues los cambios estructurales posibles a esperar en las formaciones boscosas producto al CC pueden afectar las actividades de las aves tales como su alimentación, nidificación, cría o reposo; también permitirá trazar políticas de trabajo dirigidas a la conservación *ex situ* de aquellos endémicos florísticos posibles a salvar y cuya pérdida es inevitable por el aumento del nivel del mar. Permitirá dirigir la actividad silvícola en la búsqueda o establecimiento de plantaciones no solo de interés comercial sino también hacia aquellas que contribuyan a la mitigación del CC por la cantidad considerable de carbono capaz de absorber y reservar.

Los **beneficios científicos** consisten en el aporte que constituye la tesis en la calidad de estudio de caso completo sobre las implicaciones específicas que se derivan del cambio climático en el contexto de los ecosistemas terrestres forestales, valorando de forma integral sus vulnerabilidades, impactos, retención de carbono y la evolución perspectiva de tales elementos a partir del manejo del recurso forestal.

Puesto que los trabajadores de la Empresa conforman entes activos y habitantes de esta zona geográfica, los **beneficios sociales** que se persiguen con este trabajo, se orientan hacia un futuro fomento de la participación comunitaria en la atención a un problema ambiental, pues dichos trabajadores podrán repercutir en la conciencia del resto de los habitantes en el ámbito forestal y ambiental mediante el conocimiento y



cuidado del patrimonio florístico frente al cambio climático. Además propiciar a la Entidad una mejor gerencia del recurso bosque.

## CAPÍTULO II

### ANTECEDENTES

**PARTE I: El Cambio Climático, balance de emisiones y escenarios. Aspectos conceptuales y generales. Balance de emisión en Cuba. Características y resultados. Escenarios usados para la PCN y PRECIS en Cuba.**

#### **Cambio climático**

##### **Concepto**

El " Efecto Invernadero " (EI), según Álvarez (2006), se define como un **proceso natural** que ocasiona el calentamiento de la superficie terrestre y la atmósfera baja por la presencia en la misma de gases que tienen la capacidad de absorber y reemitir la radiación terrestre, actuando de forma similar a los cristales de un invernadero. Debido a los patrones de desarrollo socio-económico utilizados, el hombre ha producido un **reforzamiento** del proceso natural existente, cuyo primer resultado ha sido el aumento de la temperatura media anual del aire. Pero el clima terrestre no está exclusivamente asociado con lo que sucede en la atmósfera, sino que es el resultado de múltiples interacciones entre los componentes del Sistema Climático: los océanos, la criósfera, la geósfera y la biosfera (factores climáticos) (Méndez *et al*, 2008; Houghton, 1997). Adicionalmente, el cambio climático de origen antrópico tiene como agravante que se espera que se produzca en un plazo de tiempo tan breve, que no permita la adaptación natural de los ecosistemas naturales, ni de los sistemas socio-económicos actuales.

FISICANET (2005), define el **efecto invernadero** como el término que se aplica al papel que desempeña la atmósfera en el calentamiento de la superficie terrestre. La atmósfera es prácticamente transparente a la radiación solar de onda corta, absorbida por la superficie de la Tierra. Gran parte de esta radiación se vuelve a emitir hacia el espacio exterior con una longitud de onda correspondiente a los rayos infrarrojos, pero es reflejada de vuelta por gases como el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los halocarbonos y el ozono, presentes en la atmósfera. Este efecto de calentamiento es la base de las teorías relacionadas con el **calentamiento global**; que

a su vez no es más que el aumento de la temperatura de la Tierra debido al uso de combustibles fósiles y a otros procesos industriales que llevan a una acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y clorofluorocarbonos) en la atmósfera.

Según Bravo *et al* (2008) el efecto de invernadero juega un rol clave en la modificación de la regulación de la temperatura terrestre.

Un cambio climático es un proceso de alteración, a largo plazo, de las condiciones promedio del tiempo en un área geográfica particular. Abarca todas las características del ambiente que constituyen el clima, tales como temperatura, humedad, nubosidad, precipitación y sequía, así como la presencia de fenómenos meteorológicos extremos. Puesto que todas estas características están interrelacionadas, por ejemplo la cobertura nubosa con la lluvia y, a su vez, con la radiación solar que llega a la superficie terrestre, el cambio en una de ellas puede tener consecuencias profundas en las condiciones globales y, por lo tanto, a nivel de la biosfera (Sánchez *et al*, 2003).

Según IPCC, citado por Bravo *et al* (2008), los niveles recientes del cambio climático son impredecibles, dada las evidencias pasadas del mismo. Las variaciones en las concentraciones de gases dentro de la atmósfera terrestre causan cambios en el clima, y estos gases atmosféricos están impactados por las actividades humanas, siendo el contribuidor promedio de los índices del cambio climático, la cantidad de CO<sub>2</sub>, otros gases tales como óxido de nitroso y metano juegan un rol más variable, dependiendo de la región y tipo de ecosistemas. El incremento de estos gases tiene un resultado de forzamiento radiativo en el sistema climático, lo cual constituye la causa primaria del calentamiento global.

Estudios realizados por Cox *et al*, citados por Heumann (2007), mediante modelos matemáticos de simulación del CC han demostrado que éste puede disminuir el carbono almacenado en la tierra y los océanos. Las comparaciones mostraron que la influencia del clima es más fuerte sobre el carbono almacenado en la tierra que el

almacenado en los océanos, prediciendo todos los modelos una reducción sustancial sobre la tierra en las regiones tropicales y un modesto incremento en la región norte extratropical.

### **La No linealidad del cambio climático**

Según Méndez (2008) se tiende a confundir los conceptos de **tiempo atmosférico** con clima, sin embargo ambos difieren pues tiempo atmosférico está vinculado con las condiciones de la atmósfera en un lugar determinado para un período relativamente corto (ejemplo lluvia de día, sol en la tarde). **Clima** es el tiempo atmosférico promedio de una región para un período relativamente largo de tiempo (meses, años, etc.); es el conjunto de fluctuaciones de las condiciones atmosféricas caracterizados por los estados y evolución del tiempo en una porción determinada del espacio. Por tanto, el clima no presenta una linealidad. Históricamente ha tenido fluctuaciones y sus características varían en las diferentes zonas del planeta. Dichas características están determinadas por los factores climáticos.

La considerable variabilidad es mayormente acrecentada de década a década. Algunas de ellas aparecerán por medio de causas externas en la atmósfera y los océanos, por ejemplo la erupción volcánica de *Pinatubo* en Filipinas ocurrida durante 1991 disminuyó aún más la temperatura media global durante 1992 comparada con la de los años 1991, 1994 y 1995. El calentamiento durante el siglo XX no fue uniforme en el planeta, siendo éste mayor sobre las latitudes medias continentales en invierno y primavera, existiendo también áreas frías en algunas zonas del norte del océano Atlántico. En adición a los cambios de temperatura también han ocurrido cambios en otros parámetros climáticos: la precipitación, es uno de ellos, ésta ha sido mayor en las zonas de latitud alta del hemisferio septentrional sobre todo en invierno. El significativo enfriamiento en la estratosfera inferior (baja, latitudes entre 10 a 30 km) ha sido observada durante las últimas 20 décadas, debido a la disminución de la concentración de ozono (el cual absorbe la radiación solar) y por el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> el cual conduce al incremento del enfriamiento. La variabilidad natural muestra una marcada tendencia de aumento de la media de la temperatura global (Houghton, 1997).

Los océanos actúan como amortiguadores y reguladores de la temperatura superficial pues las corrientes oceánicas transportan parte del calor almacenado en ellos desde las regiones tropicales, donde hay exceso de calor al presentar mayor incidencia de la intensidad de las radiaciones solares, hacia las latitudes más frías y regiones polares (Méndez, 2008); ejemplo de ello lo constituyó el cambio durante 1977 del patrón de temperatura en el Océano Pacífico (Oscilación del Pacífico o PDO) el cual azotó abruptamente desde una fase fría negativa hasta una fase cálida positiva, tendiendo pasar de una fase a otra con la misma regularidad sobre una escala temporal de múltiples décadas, indicando también la existencia de un cambio en la década del 40 del siglo XX y otra en la década del 20 (Houghton, 1997; World Climate Report, 2004).

La criósfera es la parte que refleja la incidencia de las radiaciones solares actuando como un aislante e impidiendo la pérdida de calor y juega un papel importante en los cambios climáticos ocurridos en decenas de miles de años (Méndez, 2008); ejemplo de ello es mostrado por Ashkenany *et al* (2003) en un estudio realizado en las capas de hielo de la Antártica y Groenlandia donde observaron series temporales no lineales (para una escala de mil a 100 mil años) expresadas por una correlación de las magnitudes de los incrementos de temperatura aparecidos en grupos de grandes y pequeños incrementos.

La superficie terrestre interactúa con la atmósfera pues el aire en su movimiento cercano a la superficie terrícola pierde energía por fricción y los volcanes mediante su erupción enturbian el aire. La biosfera influye en el balance del dióxido de carbono en la atmósfera y los océanos por medio de la fotosíntesis y la respiración (Méndez, 2008).

Uno de los factores que más influye sobre las características del clima es la composición de la atmósfera terrestre. La inestabilidad climática de la Tierra durante su historia geológica ha sido un hecho irrefutable. El clima siempre ha tenido variaciones y su evolución entre las estaciones del año es definida por los climatólogos como *variabilidad estacional*. Pero las estaciones anuales a veces sufren variaciones a un

ritmo diferente y estas diferencias en el comportamiento del clima entre un año y otro se denomina *variabilidad interanual* del clima (Houghton, 1997).

Según Christiansen (2003) en el Hemisferio Septentrional fueron encontrados dos regímenes en la variabilidad interanual, los cuales fueron identificados por la ley de probabilidad del componente principal: la altura neopotencial. Estos regímenes se caracterizaron por dos fases, una fuerte y otra débil en la parte estratosférica de la oscilación ártica; así pues, mientras la troposfera superior y la estratosfera inferior eran más frías en la fase fuerte que en la débil, la troposfera inferior era más caliente en particular sobre los continentes, ejemplo de dicha variabilidad cita el autor el cambio abrupto ocurrido en la última mitad de la década del 70 del pasado siglo, manifestado por un cambio substancial en la frecuencia de dichos regímenes.

Entre los factores astronómicos, según Abdussamatov citado por Pradas (2008) y Méndez (2008), se encuentra la actividad solar, donde no pocos estudios muestran la existencia de correlación entre los ciclos de la actividad solar (presencia de manchas solares) y los cambios climáticos, ejemplo fue la denominada "pequeña era glacial" a mediados del siglo XVI y finales del XIX donde prácticamente no se observaron manchas solares; según Abdussamatov (citado por Pradas, 2008) se prevé otra pequeña era glacial a partir de los años 2055 y 2060 la cual durará entre 45 y 65 años. Sin embargo, estudios realizados por Xin-Quan y Wen (2005) demostraron mediante los análisis y modelación de los mecanismos físicos del cambio climático, que los orígenes de estas oscilaciones no están directamente enlazados con la variación periódica de las radiaciones solares pero que sí están inducidas por el efecto interno No lineal del sistema climático.

World Climate Report (2004) refiere que la temperatura superficial entre 1900 y 2002 mostró puntos de intervalos en 1945 y 1977 produciendo un calentamiento de  $0.87^{\circ}\text{C}$  (comparado con el calentamiento lineal de  $0.66^{\circ}\text{C}$ ). La temperatura de la troposfera medida desde el clima global entre 1958 y 2001 presentó una pendiente de intervalo produciendo un calentamiento de  $0,32^{\circ}\text{C}$  y un incremento de  $0,35^{\circ}\text{C}$  en 1977; por lo que todo el calentamiento tuvo lugar alrededor del año 1977. En cuanto a la temperatura en

la tropósfera medida por Satélite entre 1979 y 2001 mostró una tendencia lineal muy débil de  $0,053^{\circ}\text{C}$  por décadas sin puntos de intervalos. Sin embargo, Houghton (1997) refiere que en 1979 la temperatura media global mostró una tendencia de  $0,09^{\circ}\text{C}$  a  $0,17^{\circ}\text{C}$  de incremento a partir de la temperatura del aire en la superficie, lo cual constituye una razón para esperar, especialmente sobre la tierra, una respuesta diferente y mayormente marcada en la superficie que en la troposfera media. La temperatura en la estratosfera entre 1979 y 2001 registró un modelo de intervalo de pendiente con un enfriamiento de  $0,88^{\circ}\text{C}$  influenciado sobre todo por las dos mayores erupciones volcánicas (El Chichón y Monte Pinatubo que cuentan con 94% del enfriamiento total), pero una significativa tendencia al enfriamiento es aún evidente si los períodos de erupción volcánica son apartados del grupo de datos. Los mejores modelos de intervalo pronostican mayor calentamiento en la superficie, menor calentamiento en la troposfera y generalmente menos frío en la estratosfera.

Según Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001) en las investigaciones del cambio climático y sus consecuencias potenciales revisten destacada importancia las respuestas no lineales, complejas y discontinuas. Estos tipos de respuestas llamadas singularidades, pueden ocurrir en toda la escala temporal y espacial de los sistemas influenciados por el cambio climático. Las respuestas No lineales son caracterizadas por umbrales, los cuales si son aumentados por un estímulo, resultan substancialmente muy sensibles a los estímulos adicionales (nuevos) o a un cambio dramático, un crecimiento explosivo o un colapso. Las respuestas complejas envuelven interacciones de muchos elementos que rinden resultados no predecibles fácilmente, ejemplo: el blanqueamiento de los corales, el colapso de las fuentes surtidoras de pescado, brote de enfermedades, cambios en los regímenes de incendios y otros disturbios en el sistema vegetal, fracaso de las cosechas, hambre y malnutrición y colapso de las áreas de pasto. La omisión del potencial de respuestas No lineales y complejas de las evaluaciones del impacto del cambio climático es supuesta por un subvalorado rendimiento del impacto porque de la magnitud de sus consecuencias potenciales, las respuestas discontinuas en gran escala, garantizan una consideración cuidadosa en las evaluaciones de los peligros del cambio climático.

## Escenarios

Álvarez (2006) los define como imágenes alternativas y equiprobables de lo que podría acontecer en el futuro, constituyendo un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras de GEI y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis; coincidiendo en este punto con lo planteado por el IPCC (2006) argumentando que estos (escenarios) ni predicen ni pronostican.

Los **escenarios** son los encargados de proporcionar un marco para identificar los cambios estructurales de los sistemas climáticos (PNUD, 2007).

En la plenaria del IPCC realizada en 1996, se solicitó la elaboración de un Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IE-EE) que abarcara todo el siglo XXI, el que fue aprobado en marzo de 2000, formulándose un total de 40 escenarios agrupados en cuatro líneas evolutivas (A1, A2, B1 y B2), de tal forma que las líneas A son más económicas y menos ambientales que las B, mientras que las líneas 1 son más globales y menos regionales que las 2. Estos escenarios del IPCC describen futuros patrones verosímiles de crecimiento demográfico y económico y cambios tecnológicos así como las emisiones de dióxido de carbono asociadas. Los escenarios A1 suponen crecimiento demográfico y económico rápido en combinación con la dependencia de combustibles fósiles (A1FI), energía no fósil (A1T) o una combinación de ambas (A1B); el escenario A2 supone menor crecimiento económico, menos globalización y crecimiento demográfico alto y sostenido. Los escenarios B1 y B2 incluyen un cierto nivel de mitigación de las emisiones a través del uso más eficiente de la energía y mejoras tecnológicas (B1) y soluciones más localizadas (B2). Para los mismos se confirmó que las principales fuerzas determinantes de las futuras trayectorias de los GEI seguirán siendo el cambio demográfico, el desarrollo socioeconómico y la rapidez/dirección del cambio tecnológico e igualmente, en todos ellos las emisiones acumulativas totales mundiales de CO<sub>2</sub> (desde 1990 hasta 2100) irán en un constante y



no lineal aumento, con diferencias sustanciales cuando son analizadas y asociadas a la energía, la industria o a los cambios de uso de las tierras (IPCC, 2006).

Los Escenarios de Emisiones son un componente central de cualquier evaluación de cambio climático. Los GEI y las emisiones de SO<sub>2</sub> representan la entrada básica para determinar el clima futuro con modelos climáticos simples, así como también, con modelos de circulación compleja. La posibilidad de un cambio climático conjuntamente con los modelos demográficos, el desarrollo económico y las condiciones ambientales, proveen las bases para las evaluaciones de la vulnerabilidad, los posibles impactos adversos, las estrategias y políticas de adaptación frente al cambio climático (IPCC, 2006).

Antes de elaborarse por el IPCC estos Escenarios de Emisiones, cabe señalarse que entre 1990 y 1992 se desarrollaron seis escenarios denominados IS92, los cuales fueron ampliamente utilizados en las evaluaciones de cambio climático, pero solo contemplaba la variación en el clima. A partir de 1995, se le incorporó a este modelo las emisiones de CO<sub>2</sub>, dando lugar al escenario IS92A; éste se consideró como el centro de los escenarios de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global en el tiempo (IPCC, 2006).

El escenario IS92A conjuntamente con KYOTOA1, han sido aplicados en Cuba previo a la preparación de la Primera Comunicación Nacional por el Instituto de Meteorología, por considerarse en ese momento los más plausibles y no contarse hasta la fecha con los resultados de nuevos escenarios que se están valorando actualmente por esa institución (Álvarez, 2007). Sin embargo, el primero ha sido ampliamente utilizado en el sector forestal, debido a que entre los dos, éste es el que prevé mayores valores de elevación del nivel del mar y en consecuencia, estos serían los límites mayores esperables.

En general, la familia de los nuevos escenarios que identifican los posibles rumbos de las emisiones para el siglo XXI, se diferencian de los supuestos respecto a los cambios poblacionales, crecimiento económico, patrones de uso energético y mitigación (PNUD, 2007).

La forma en que estos cambios se transmiten a través de los resultados del desarrollo humano está condicionada por la interacción entre riesgo y vulnerabilidad (PNUD, 2007).

### **Vulnerabilidad e Impactos**

Según Álvarez (2006) las **vulnerabilidades** son las modificaciones causadas por el cambio climático sobre los patrones de evolución temporal de las dimensiones económica, social o ambiental. Por su parte, los **impactos** constituyen la cuantificación espacio-temporal de las vulnerabilidades.

La **vulnerabilidad** es una medida de la capacidad de manejar los peligros sin sufrir una pérdida de bienestar potencialmente irreversible en el largo plazo; ésta difiere del riesgo pues el segundo tiene relación con la exposición a peligros externos sobre los cuales las personas tienen escaso control (IPCC, 2007b; PNUD, 2007).

### **Las fuentes, los sumideros y el balance de emisiones.**

Las **fuentes** son todas aquellas actividades o fenómenos, naturales o antropogénicos, generadores de emisiones de GEI. Así por ejemplo, los humedales constituyen una fuente natural generadora de metano (CH<sub>4</sub>), uno de los GEI, en tanto que la generación de energía mediante el consumo de combustibles de origen fósil (como la gasolina y el diesel) es una fuente generadora de GEI, principalmente monóxido de carbono (CO).

Sin embargo, es importante resaltar que en caso de tratarse de una fuente natural, su acción sólo es tomada en consideración cuando está sujeta a la intervención humana, razón por la cual las áreas naturales comprendidas en áreas protegidas no son incluidas en los análisis sobre el CC.

Por su parte, los **sumideros** son todas aquellas actividades o fenómenos, naturales o antrópicas, capaces de absorber GEI o de retener carbono. Así por ejemplo, la fotosíntesis de los árboles constituye uno de los sumideros de los ecosistemas, susceptible de ser modificado antropogénicamente mediante la biotecnología.

De igual forma a lo ocurrido con las fuentes, el sumidero sólo es considerado cuando está sujeto a la intervención humana.

Finalmente, el **balance de emisiones** es la resultante del proceso mediante el cual a todas las emisiones de GEI de las fuentes existentes en un sistema, se les deducen las absorciones y retenciones generadas por los sumideros de ese sistema, para un período de tiempo determinado. Por tal razón, la resultante puede ser de signo positivo, cuando priman las emisiones, o de signo negativo, cuando priman las absorciones (Álvarez, 2006).

## **PARTE II. Impactos y adaptación al cambio climático. Conceptos. Resultados del IPCC. Estrategias de adaptación. Impactos esperables en los bosques. La adaptación y el sector forestal cubano. Resultados existentes.**

### **Impactos**

Se define como **impacto** al efecto, ya sea positivo o negativo, derivado de un fenómeno dado o estudiado.

El impacto del cambio climático sobre el ecosistema forestal variará dependiendo de los factores que limiten el crecimiento y regeneración de los árboles (Bravo *et al*, 2008).

Desde 1896, comenta FISCANET (2005), se sabe que el dióxido de carbono ayuda a impedir que los rayos infrarrojos escapen al espacio, lo que hace que se mantenga una temperatura relativamente cálida en nuestro planeta (efecto invernadero). La cuestión es si los crecientes niveles de dióxido de carbono registrados a lo largo del último siglo llevarán a un aumento de la temperatura global. El contenido en dióxido de carbono de la atmósfera ha venido aumentando 0,4 % cada año como consecuencia del uso de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón; la destrucción de bosques tropicales por el método de cortar y quemar también ha sido un factor relevante que ha influido en el ciclo del carbono. Desde 1850 se ha producido un incremento medio de la temperatura global de +/- 1 °C, pero éste podría ser sólo parte de una fluctuación natural. Tales fluctuaciones se han registrado durante decenas de miles de años y se producen en ciclos a corto y a largo plazo. La dificultad de distinguir las emisiones de dióxido de carbono de origen humano de las naturales es una de las razones por las que tanto ha tardado en legislarse su control. No obstante, las consecuencias potenciales del calentamiento global son tan amenazadoras que muchos prestigiosos científicos han urgido la adopción de medidas inmediatas y han solicitado la cooperación internacional para combatir el problema.

Según Robledo (2004) una gran parte de la acumulación de GEIs en la atmósfera en los últimos dos siglos se ha debido a procesos de industrialización y a cambios en el uso de tierras, especialmente la deforestación.

Por su parte, Jach, Ceulemans y Murria, citados por FAO (2003), comunican que los GEIs pueden influir en la fenología de los árboles forestales, incidiendo en diferentes procesos como la gemación, la floración, la fructificación, la senescencia foliar, la resistencia a las heladas, la calidad de la madera, la ramificación y la susceptibilidad a los insectos, en función de las especies.

Cabe destacar, que según Taladrid (2008), las emisiones en los Estados Unidos han aumentado en 2% cada año.

Según PNUD (2007) citando al IPCC, entre 2000 y 2005, se liberó anualmente a la atmósfera un promedio de 26 Gt de CO<sub>2</sub>. De este flujo aproximadamente 8 Gt, fueron absorbidas por los océanos y otras 3 Gt de CO<sub>2</sub> fueron eliminadas por estos conjuntamente con la tierra y la vegetación. El efecto neto fue un incremento anual de 15 Gt de CO<sub>2</sub> en las acumulaciones atmosféricas de gases de efecto de invernadero de la Tierra. En 2004, el total de emisiones de todos los GEI alcanzó unas 48 Gt de CO<sub>2</sub>, aumento de 20% desde 1990. El sostenido aumento de las concentraciones de estos gases significa que las temperaturas mundiales seguirán aumentando en el tiempo. La tasa de crecimiento y el nivel de temperatura final se verán determinados por las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto de invernadero.

Esto se refleja en que a nivel mundial según PNUD (2007), las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita durante 2004 fue de 4,5 t; esto se traduce en 29 Gt de CO<sub>2</sub> equivalente.

El CC que hoy se está produciendo, consiste en un aumento progresivo de las temperaturas y alteraciones de los regímenes de las precipitaciones, que tendrán efectos adversos profundos en toda la biota. Los cambios son provocados fundamentalmente por intervenciones humanas.

Estos grandes cambios han tenido repercusiones graves en la composición y la química atmosférica, entre los que se destacan: 1) el aumento dramático de las concentraciones de gases con efecto invernadero (Ej. dióxido de carbono, metano); 2) la liberación de grandes cantidades de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) por la quema de combustibles fósiles (el doble de las emisiones naturales); 3) la liberación de óxido nitroso (NO) en cantidades superiores a las emisiones naturales; 4) la liberación de productos químicos conocidos como clorofluorocarbonados que antes no existían y que han originado el problema del agujero en la capa de ozono. (González, 2003a).

La posibilidad de que las actividades humanas pudiesen afectar el clima del mundo al producir un *Efecto Invernadero Incrementado* fue sugerida por primera vez, según Sarre (1994), por el científico sueco Svante en 1908, pero a diferencia de los planteamientos actuales, no lo consideraba un problema pues valoraba que la influencia de un mayor porcentaje de CO<sub>2</sub> en la atmósfera provocaría eras de climas mejores y más estables, especialmente hacia las regiones más frías del planeta. Los científicos coinciden en dos puntos: existe un efecto invernadero natural y, como resultado del mismo, las temperaturas de la Tierra se tornan más cálidas y las concentraciones atmosféricas de los GEI están aumentando debido a las actividades humanas. Sarre hace mención además, a que estos gases absorben parte de la radiación infrarroja y la emiten en todas direcciones, incluso otra vez hacia la Tierra y como resultado de este efecto, la temperatura sube 3,0 °C.

En la actualidad, las alteraciones producidas en la composición química de la atmósfera y el CC están ocurriendo en un período más breve que la vida media de los árboles. La diversidad biológica no tendrá el tiempo necesario para moverse y adaptarse naturalmente. En los próximos 50 o 100 años se prevé que los cambios de temperaturas (y las correspondientes alteraciones en los regímenes de precipitaciones) sucederán entre 10 y 50 veces más rápido que los cambios ocurridos en los 12 000 o 15 000 años, desde la última época glacial.

En los últimos 150 años la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado en 26%, y se estima que 65% de dicho aumento fue provocado por la combustión de

combustibles fósiles (según GIECC, 2005) en 1990 en el mundo, se estimaba una liberación de carbono resultante de la quema de combustibles fósiles de 6 Gt C) y 35% por cambios en el uso de las tierras. Se estima que de continuar a ese ritmo las emisiones de CO<sub>2</sub>, para el año 2050 se habrá duplicado su concentración con respecto a los niveles anteriores a 1750 y para el año 2100, se habrá triplicado. (Sarre, 1994; Brown, 2000; Loguercio, 2000).

La concentración de otros gases que contribuyen al efecto invernadero, como el metano y los clorofluorocarbonos, está aumentando todavía más rápido. El efecto neto de estos incrementos podría ser un aumento global de la temperatura, estimado en 2,0 °C a 6,0 °C en los próximos 100 años. Un calentamiento de esta magnitud alteraría el clima en todo el mundo, afectaría a las cosechas y haría que el nivel del mar subiera significativamente (FISICANET, 2005).

La fuente predominante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) causados por el hombre continuará siendo la combustión de combustibles fósiles. Si bien los científicos sugieren que lo mínimo requerido para mitigar el cambio climático (CC) es una reducción del 60% en las emisiones, una publicación del Organismo Internacional de Energía predice que las emisiones de carbono a partir de la generación de energía podrían aumentar hasta 60 por ciento en los próximos 20 años (Sarre, 1994).

El propio autor señala que se prevé que entre los años 2025 y 2050, el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico se duplicará. Se presume que el marcado aumento que se ha registrado actualmente en los niveles de CO<sub>2</sub> tendrá profundos efectos en el clima de la Tierra, así como en los ecosistemas naturales y su biodiversidad, y en las estructuras actuales de producción agrícola.

Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007a), en los últimos años del siglo XX, se registraron las temperaturas más elevadas, siendo por ende los años más cálidos del planeta en la historia (1990, 1995, 1997, 1998 hasta lo que va de siglo XXI). Actualmente la temperatura de la superficie terrestre está aumentando más rápido que la temperatura del mar.

Este prolongado aumento de las temperaturas con el consiguiente ascenso del nivel del mar a corto, mediano y largo plazo como consecuencia del reforzamiento del El traería graves efectos sobre la vida del planeta.

Se estima que el deshielo de Groenlandia aumentaría el nivel del mar en 23 pies (7,01 m), y el deshielo de la Antártica ascendería el nivel del mar en unos 250 pies (76,20 m) (Taladrid, 2008).

Según Pérez (2007) citando a Hernández, cuando las aguas del mar se exponen a temperaturas bien altas, comienzan a expandirse y esto provoca un aumento en su volumen el cual también estará influido por el derretimiento de los casquetes polares, los glaciares y el hielo que corona los sistemas montañosos tropicales. Esto se evidencia en que si en los últimos 3000 años, el alza media anual del nivel del mar era de 0,1 mm ó 0,2 mm, en el siglo XX se aceleró diez veces. Los cálculos arrojan que el mar aumenta su nivel en el mundo de 1 mm/año a 2 mm/año.

Según datos, comenta el autor citando a Hernández, de la Estación Mareográfica de Siboney (C. Habana, Cuba) en los últimos 40 años el nivel del mar en el litoral capitalino ha ascendido 2,14 mm/año; es decir, 85,60 cm.

El nivel del mar continuará aumentando, aunque no hay seguridad acerca de los niveles. Los océanos han absorbido más de 80% del aumento del calor que ha generado el calentamiento global (PNUD, 2007).

También la temperatura ha aumentado 0,5°C con respecto a la media del siglo anterior. (Álvarez, 2008).

Cuba, al ser un archipiélago corre el riesgo de perder por esta causa parte de su territorio si aumenta la altura media de las aguas, lo cual además agravaría el impacto de eventos como frentes fríos, huracanes y bajas extra-tropicales. Al aumentar la incidencia de estos eventos naturales de corto plazo, también aumentaría la altura de las aguas que rodean a la isla y por consiguiente los daños a medida que pase el tiempo serían mayores, pues el mar llegaría, mientras persista la fuerza de los vientos, a zonas nunca antes inundadas a pesar de ser bajas, y por lo tanto estarían poco



preparadas para el enfrentamiento de estos fenómenos. Ecosistemas como las dunas costeras o los manglares sufrirían a largo plazo las consecuencias de la erosión del litoral, trayendo efectos sobre el turismo asentado en estas zonas (Pérez, 2007 citando a Hernández).

Este hecho es corroborado por Moya (2007) quien plantea que estudios realizados en la Península de Hicacos, Matanzas, Cuba han arrojado estimaciones de un retroceso de 50 m de la línea de costa, incidiendo esto negativamente en el sector del turismo al cual se le proponen nuevas estrategias para su realización.

Especialistas del Instituto de Oceanología de Cuba, según Pérez (2007), sostienen que es muy probable que este ascenso del nivel del mar también afecte la velocidad de las corrientes marinas al variar la temperatura marina, afectándose con ello la densidad del agua y por el lento desplazamiento de las corrientes disminuiría la pesca y la regulación de los ecosistemas marinos. Si las barreras de coral muriesen por el aumento de la temperatura del nivel del mar causarían daños irreparables hasta en las edificaciones costeras, pues los corales constituyen importantes zonas protectoras de las islas al minimizar la intensidad con que las olas del mar llegan a ellas.

Este punto es compartido por Moya (2007) quien señala que los asentamientos poblacionales sufrirán afectaciones debido a la penetración de la cuña salina, que afectará las aguas subterráneas, con la intrusión del mar.

La intrusión marina también revertirá efectos sobre los ecosistemas, fundamentalmente en los manglares. Esta formación boscosa abarca alrededor de 17 millones de hectáreas en todo el mundo y acumula turba o barro, lo cual le permite adaptarse a las elevaciones del nivel del mar. Si el índice de acrecentamientos de sedimentos es igual al índice de elevación del nivel del mar, entonces podrán mantenerse los regímenes de inundaciones preferidos por las diferentes especies de mangles, pero si el índice de elevación del nivel del mar supera el del acrecentamiento de sedimentación, entonces tendrá lugar una alteración de la vegetación existente. Si el nivel medio de mareas pasa a ser mayor que la elevación del sustrato, se producirá una pérdida de manglares. Las

distintas especies de mangles muestran una variación considerable con respecto a su susceptibilidad a la temperatura. Sin embargo, la mayoría parece producir un crecimiento máximo de brotes con una temperatura media de 25 °C. Por lo tanto, aparentemente si la temperatura media aumenta en más de unos pocos grados, la composición de especies de los manglares podría trasladarse más al norte o al sur, si las otras condiciones de crecimiento y reproducción se mantienen favorables. Superficialmente, el calentamiento previsto del planeta entre 1,5 °C y 4,5 °C en el próximo siglo, al parecer, tendrían escasas repercusiones en el desarrollo de diversas especies de mangles. Sin embargo, el impacto de los aumentos de la temperatura podría llegar a ser significativo si se tienen en cuenta los efectos acumulativos de la temperatura en el desarrollo de las plantas. Los efectos de un incremento de CO<sub>2</sub> en los manglares no pueden interpretarse dentro de un contexto simple, ya que dependerá de las complejas interacciones entre varios factores fisiológicos y ambientales diferentes (Booth, 1994).

Una de las consecuencias del calentamiento de la Tierra puede ser un cambio en el régimen de las precipitaciones en los trópicos. La tasa de crecimiento de los manglares está estrechamente relacionada con la abundancia de agua para los árboles y esto se refleja en el contenido de agua en el suelo. Dado que la mayoría de los manglares se hallan en zonas de inundaciones mareales, el contenido de agua en el suelo sólo se convierte en un problema cuando las inundaciones son esporádicas y las precipitaciones son muy limitadas. La salinidad del suelo es una característica del hábitat de los manglares y algunos mangles han mostrado un crecimiento máximo con niveles relativamente bajos de salinidad. Con una mayor salinidad del suelo, asociada a una reducción de las precipitaciones, las especies de mangles tendrían problemas de un aumento de los niveles de sal en los tejidos y una disminución del agua, lo cual provocaría una reducción del crecimiento. Si los cambios en los regímenes de precipitación en las zonas de manglares llevasen a una reducción de la salinidad del suelo, entonces podría esperarse un mejoramiento en las tasas de crecimiento (Booth, 1994).

## Incendios

Expertos plantean que en los próximos años se incremente la ocurrencia de incendios forestales (OIMT, 2002 a).

Según Sorensen, citado por OIMT (2002), los bosques húmedos tropicales presentan una creciente amenaza de incendios a medida que los cambios en el uso del suelo los vuelve más vulnerables. Los efectos son devastadores: los incendios de los bosques tropicales destruyen viviendas, el sustento y la fauna silvestre y contaminan los sistemas hídricos. El humo producido crea problemas de salud y de la navegación a escala regional y las emisiones de carbono contribuyen de forma significativa a la acumulación de los GEI en la atmósfera.

Blaser (2002) infiere que en los últimos 20 años las sequías, ciclones e incendios han afectado gravemente o han destruido los bosques en todo el mundo; hay evidencias que los desastres naturales se presentan cada vez con mayor frecuencia. Los regímenes climáticos cambiantes han producido un fenómeno que se suele denominar como " el tipo de incendio equivocado en el sitio equivocado ". Los incendios forestales, ya sean naturales o provocados por el hombre, siempre se han presentado en las sabanas, bosques boreales y algunos ecosistemas tropicales específicos. No obstante, en la actualidad se presentan grandes incendios en los bosques húmedos de todas las regiones tropicales. Se calcula que entre 1997 y 1998 más de 14 millones de hectáreas de bosques húmedos naturales tropicales, se redujeron a cenizas en la Amazonia brasileña, Borneo, Méjico y Sumatra.

Las grandes sequías que han azotado parte del mundo provocan desastres naturales entre las mayores reservas ecológicas del planeta, convirtiéndose los incendios en un enemigo poderoso de la floresta. Estos hacen su aporte a la deforestación y la desertificación del planeta, así como al cambio climático, ocasionan daños al medio ambiente y reducen las especies endémicas de la flora y la fauna. Se estima que 89% de todos los que se producen son provocados por el hombre de manera casual o

intencional; en Cuba, el único agente natural que origina un fuego son los rayos, causantes del otro 11% (González, 2002).

Chávez, citado por González (2002), infiere que en Cuba los incendios forestales ocurren después de las 12:00 m en cualquier época del año, produciéndose 63% de ellos en los meses de marzo y abril. Datos preliminares señalan que hasta mediados de julio del 2002 se habían dañado 26 mil 200 hectáreas del patrimonio forestal por la ocurrencia de 282 incendios, una cifra similar a la de años anteriores, pero con daños sin precedentes. Entre el 23 de abril y el 12 de mayo de ese año se afectó 80% del área mencionada. Se estima que el promedio anual de ocurrencia es aproximadamente 200 incendios forestales, que afectan un estimado de 5000 ha de bosque, de los cuales el 12% es ocasionado por la naturaleza (Centella *et al*, 2001).

La etapa de máximo peligro de los incendios forestales en Cuba comienza cada año el 1º de febrero y concluye el 31 de mayo. Solo 8% de los incendios forestales tienen causas naturales. En el 2003 casi 60% de los fuegos tuvo causa inicial en la negligencia: la irresponsabilidad de los fumadores y las quemas no autorizadas en predios agrícolas, siendo en Cuba el comportamiento de los mismos directamente proporcional a la dinámica meteorológica. Según un informe del Cuerpo de Guardabosques, entre enero del 2000 y noviembre del 2003, se reportaron 1 110 incendios forestales, los cuales afectaron 38 977 ha de bosques y 14 365 ha de herbazales de ciénaga; siendo el año 2002 el más drástico, pues los expertos reportaron 353 incendios y una afectación de 23 118 ha, entre bosques naturales y plantaciones (estas últimas las más golpeadas). Al concluir noviembre del 2003, las estadísticas indican que se produjeron en el país 136 incendios, que afectaron a 2 362 ha de bosques y 1 721 ha de herbazales de ciénaga (Tamayo, 2003).

En el 2007 del total de 257 incendios ocurridos en Cuba, 242 ocurrieron en el mes de Febrero localizándose la mayoría de estos en las provincias de Pinar del Río, Matanzas (occidente del país) y Cienfuegos y Villa Clara (zona central del país); siendo el promedio anual de ocurrencia de incendios de 329 (Cuerpo Guardabosque, 2008).

El propio autor señala, que en el mundo se pierden entre 20 millones ha/año a 40 millones ha/año de bosques tropicales.

### **Ciclones y huracanes**

Según Centella *et al* (2001), la relación entre el cambio climático y la actividad ciclónica es una de las cuestiones que presenta mayor incertidumbre en relación con la cuestión del cambio climático global.

La tendencia creciente observada del incremento en la temperatura superficial del mar a escala global, puede contribuir al incremento de la actividad ciclónica a nivel global, fundamentalmente en lo referido a la intensidad que los huracanes pudieran alcanzar.

El comportamiento de los ciclones tropicales presenta variaciones naturales a escala de décadas, las cuales pueden ser muy grandes en algunas regiones como el océano Atlántico, lo que significa que períodos de alta y poca actividad se suceden a lo largo del tiempo y hace muy difícil concluir sobre si la frecuencia de ocurrencia de huracanes ha estado cambiando.

Solomon *et al* (2007) comunicaron que en los EUA el huracán Hugo en 1979 y Katrina 2005, fueron tormentas inusualmente intensas las cuales dañaron o destruyeron 1,5 a 2 millones hectáreas de valorables bosques de pino.

En realidad los períodos de máxima ocurrencia de los huracanes, han sido en épocas anteriores, aunque la actividad observada entre 1995 y el pasado 2004 constituye un record para dicha región (Moya, 2008).

Con relación a la intensidad del viento y a la lluvia de los ciclones tropicales, en el último informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, se sugiere que sobre algunas áreas del planeta la intensidad del viento probablemente se incremente de un 5% a 10% y el porcentaje de la precipitación puede incrementarse de un 20% a un 30% (Centella *et al*, 2001).

El número de ciclones que afecta anualmente a Cuba es muy variable, con totales desde cero a cinco tormentas (desde cero a cuatro huracanes), siendo la región más afectada, en el caso de los huracanes, la zona occidental, constituyendo el mes de octubre el de mayor afectación en esta región conjuntamente con la zona central, con promedios de 7.3 y 15.8 años (Centella *et al*, 2001).

Según Moya (2008), en la actualidad se tiene determinada la incidencia y cuantía de los huracanes que afectarán a la provincia Matanzas, así como la incidencia de los vientos máximos, mostrando el clima una tendencia a la intensidad de los huracanes.

### **Impactos negativos de la ocurrencia del CC observados en Cuba y en el mundo.**

La temperatura del mar en el océano Atlántico y en el mar Caribe se mantiene alta, alcanzando valores poco usuales; esta sostenida alta temperatura del mar es uno de los factores más influyentes no solo en los huracanes, sino también en el comportamiento general del clima en Cuba y el resto del área durante el período lluvioso actual. Desde principios de septiembre del 2005, grandes nubes de polvo provenientes del Sahara han estado influyendo desde la zona tropical hacia el sur, lo cual podría explicar la relativa calma en Cuba y las zonas bajas del Caribe, ya que este fenómeno inhibe la presencia de huracanes. En cuanto a la temperatura atmosférica, el mes de agosto fue más cálido de lo normal en las regiones occidental y central de Cuba, de hecho, fue el sexto más cálido desde 1951 y el más caluroso de los últimos 30 años. González, citado por Del Valle (2005), asegura que si bien no es categórico afirmar que el calentamiento global es la única causa del aumento de las temperaturas, sin dudas influye de manera creciente en el cambio climático a nivel planetario; que cada año los eventos climáticos son más extremos y por eso los meses de verano son cada vez más calurosos. Incluso septiembre ya ha dejado de ser un mes de transición y se ha convertido en uno de verano, mientras que los inviernos tienden a acortarse, pero a la vez se hacen más intensos. Además, afirma que en sentido general la temperatura mínima de todos los meses se ha elevado también. En Cuba, el invierno en los últimos años ha durado muy poco, no obstante ha aumentado el número de días con temperaturas mínimas cada vez más bajas.

Reportes de FAO citado por Vázquez (2005), señalan que en cerca de 40 países en desarrollo, con una población total de 2 mil millones de personas, incluyendo 450 millones de desnutridos, las pérdidas de producción agrícola por los efectos del cambio climático pueden incrementar en forma dramática el número de víctimas del hambre.

Ejercicios de escenarios climáticos para Bangladesh sugieren que un aumento de temperatura de 4°C podría reducir la producción de arroz en 30% y la de trigo en 50%. En Pakistán, los modelos climáticos simulan pérdidas agrícolas de entre 6% y 9% para el trigo con un aumento de 1°C de la temperatura (PNUD, 2007).

La FAO señaló (Anónimo, 2005), que la región del planeta que enfrentará la situación más severa será el África Subsahariana, donde las naciones presentan menos capacidad de adaptación al cambio climático para paliar sus consecuencias y son además los que menos recursos tienen para importar alimentos de otras zonas del mundo.

Se estima que para el año 2080, la actual superficie de mil 100 millones de hectáreas que en África tienen un ciclo vegetativo inferior a 120 días pudiera aumentar entre 5% y 8%, es decir, de 50 a 90 millones de hectáreas. Sin embargo, en Asia la situación presenta contradicciones; mientras la India puede perder 125 millones de toneladas de cereales anualmente, el equivalente al 18% de su producción total de secano, China aumentará su cosecha en 15%. (FAO, citado por Vázquez, 2005).

Una parte importante del mundo está cubierta por tierras áridas; los suministros de agua potable han disminuido en casi dos tercios desde 1950; más de 250 millones de personas padecen directamente los efectos de la desertificación y la sequía, resultante de varios factores que van desde las inadecuadas prácticas agrícolas, sobrepastoreo, deforestación y variaciones climáticas; siendo el calentamiento del planeta y la pérdida de la diversidad biológica factores agravantes de las crisis ambientales que se ciernen sobre la humanidad. La desertificación golpea en mayor medida al continente africano, cuyas dos terceras partes se encuentran afectadas; originando anualmente, daños por 42 mil millones de dólares (Collazo y Vives, 2003). Tan es así, que según

datos ofrecidos por PNUD (2007), durante el 2005 más de 14 millones de personas en una franja desde Etiopía y Kenya hasta Malawi y Zimbawe expusieron su vida en peligro producto a la sequía. En el Líbano, se proyecta que el aumento de la temperatura de 1,2 °C reducirá la disponibilidad de agua en 15% debido al cambio en los patrones de escorrentía y la evaporación.

Según Alonso, citado por Pérez (2003), ya en esa fecha 40% de la población mundial estaba impedida del uso de la energía, 75% de los desechos peligrosos se generaba en los países desarrollados, 130 000 km<sup>2</sup> de bosques tropicales se seguían explotando anualmente, 40% de los suelos agrícolas estaban erosionados y se encontraban en extinción 24% de los mamíferos, 11% de las aves y 10% de las plantas terrestres. En América Latina y el Caribe la situación es igual o peor de alarmante; en el área, 30% de los arrecifes se encontraban en peligro, existiendo 300 millones de hectáreas degradadas y sólo 2% de las aguas residuales reciben tratamiento.

El derretimiento de los glaciares plantea amenazas a más del 40% de la población mundial. Por ejemplo, se ha notificado que las cúspides nevadas del *Himalaya* se están reduciendo a un ritmo de 10 a 15 metros por año. Los glaciares de la meseta de Qinhai-Tibet, barómetro de las condiciones climáticas del mundo y origen de los ríos *Amarillo* y *Yangtzé*, se han estado derritiendo a un ritmo anual de 7% (PNUD, 2007).

Salomón (2003) reportó que el volumen de manto de nieve del Kilimanjaro, según aseveraciones de científicos, ha disminuido en 82 %; esta pérdida tiene lugar como resultado de la fusión de los glaciares tropicales y es un signo evidente del calentamiento global y de su huella irreversible en el planeta. Este propio autor refiere además que, según Thompson y colaboradores, la pérdida de estos depósitos helados amenaza la disponibilidad de agua en la región como consecuencia del calentamiento global, ocurriendo algo similar en otras montañas de África y América.

Los glaciares andinos y de los Alpes han reducido su densidad. Expertos franceses pronostican que los más pequeños desaparecerán dentro de 2 o 3 décadas; según los investigadores, los glaciares alpinos han perdido de 30 % a 40 % de su superficie



desde mediados del siglo XIX. El fenómeno, acelerado desde el principio de los años 80 del siglo XX, fue especialmente intenso durante el verano del 2003 a causa de la desacostumbrada ola de calor que azotó al Viejo Continente, aunque en Los Andes se debe al fenómeno El Niño (Prensa Latina, 2003).

Estos glaciares tropicales, según PNUD (2007) se están replegando más rápidamente que los del Himalaya. Existen 2 500 km<sup>2</sup> de glaciares en los Andes tropicales, de los cuales 70% está en Perú y 20% en Bolivia. Desde comienzos de 1970, se calcula que el área superficial de los glaciares peruanos se ha reducido entre 20% y 30% (en 1975 el área cubierta era de 1958 km<sup>2</sup>, en el 2006 existían 1370 km<sup>2</sup>). Algunos de los glaciares más pequeños de Bolivia ya han desaparecido; en 1975 la superficie cubierta era de 562 km<sup>2</sup>, en el 2006 solo abarcaba 396 km<sup>2</sup>. En Ecuador, los glaciares presentaban una superficie en 1975 de 113 km<sup>2</sup>, para el 2006 se habían perdido 34 km<sup>2</sup>.

Según Schellnhuber (2003), director del equipo de especialistas en clima del centro Tyndall, Gran Bretaña, la ola de calor que afectó durante ese año al hemisferio norte europeo, se debió al incremento del cambio climático causado por el hombre. Estas elevadas temperaturas, superiores a la media, estaban previstas para dentro de 20 o 30 años.

Por su parte, según la revista Nature en su versión on-line, citada por Anónimo (2004), advierte que las altas temperaturas registradas en Europa durante el 2003 podrían repetirse y ser comunes en el futuro debido al aumento en la variabilidad del clima. Cada dos años los veranos europeos probablemente serán tan cálidos o incluso peores. Los registros indican que las temperaturas veraniegas varían ligeramente de un año para otro. Sin embargo, la variabilidad aumenta anualmente, mostrando fluctuaciones en ese indicador cada vez más grandes.

Los países desarrollados han registrado un aumento en la lista de desastres climáticos.

PNUD (2007) refiere que entre el año 2000 y 2004, se informó un promedio anual de 326 desastres climáticos. En ese mismo período, alrededor de 262 millones de personas se vieron afectadas anualmente, cifra que duplica lo ocurrido en la primera mitad del decenio de 1980; una de cada 19 personas que habitan en el mundo en desarrollo se vio afectada por un desastre climático. Por ejemplo, en el 2004, Japón fue azotado por más ciclones tropicales que ningún otro año durante el siglo; el período del monzón 2007 en Asia Oriental desplazó a tres millones de personas en China, y extensas zonas del país registraron la mayor cantidad de precipitaciones desde que comenzaron los registros. Según la asociación Meteorológica de China, las inundaciones y los tifones del último año causaron la segunda tasa de víctimas mortales más alta de la historia.

En la actualidad, el presente siglo XXI ha aportado ya el 2002 como segundo año más caliente y el 2003 (que según la Organización Meteorológica Mundial) es el tercer año caliente en la serie citada anteriormente (Moya, 2003).

Esta situación reflejada por el autor anteriormente citado ha marcado la frecuencia e intensidad de los huracanes. Según PNUD (2007), la temporada de huracanes del Atlántico durante el 2005 fue la más activa de que se tenga registro. El huracán *Katrina* (categoría 4) causó una devastación generalizada en Nueva Orleans, Estados Unidos; sin embargo, las 27 tormentas con nombre en la temporada, afectaron a comunidades de América Central y el Caribe; por ejemplo el huracán *Stan* causó la muerte de más de 1600 personas en las tierras altas centrales de Guatemala, con un número de víctimas fatales superior al huracán *Katrina*.

Según Moya (2007)<sup>1</sup> se estima que en la llanura central de la provincia Matanzas incrementa la temperatura y con ello la sequía, trayendo consigo la afloración de plagas y enfermedades, siendo el sector más afectado la agricultura, pues en esta región es donde mayormente se concentran los cultivos agrícolas.

---

<sup>1</sup> Comunicación personal

Por otra parte, once de los 12 últimos años se ubican entre los años más calurosos desde 1850. Se estima que se incremente la temperatura de 1,1° C a 6,4 ° C en la última década del siglo XXI y se incremente de 18 cm a 59 cm el nivel del mar (Anónimo, 2007).

Según Anónimo (2007) entre los impactos observados se citan los cambios ocurridos en el ecosistema ártico, la acidificación de los océanos, incidencia en el rendimiento de los cultivos y la pesca lo cual ha provocado un incremento de la seguridad alimentaria, incremento de las enfermedades y resurgimiento de otras, dificultad en el acceso a los abastecimientos de agua potable. Entre los impactos futuros, se registra, la disminución de la disponibilidad de agua dulce; incremento de las precipitaciones intensas (inundaciones); aumento de riesgo de extinción entre un 20% y 30% de especies de plantas y animales; incremento de riesgo de erosión costera. A la ocurrencia del cambio climático se le suma otros problemas ambientales como la deforestación, la pérdida de la diversidad biológica y el agotamiento de la capa de ozono.

El calentamiento de la Tierra puede también tener serias repercusiones en las plantaciones forestales y en la adaptabilidad de las especies a los sitios, que puede verse afectada por cambios en las condiciones climáticas. Una de las repercusiones podría ser una mayor cantidad de insectos y brotes de enfermedades en las plantaciones existentes al encontrarse los árboles bajo mayores niveles de estrés (Arentz, 2004).

Según Blaser (2002) existe el peligro de que se presenten cambios importantes en los patrones de sucesión forestal, en las próximas décadas, en los grandes macizos restantes de los bosques húmedos tropicales en el Amazonas, la cuenca del Congo y el sudeste Asiático, lo cual tendrá consecuencias difíciles no sólo por la pérdida de biodiversidad sino también por los efectos potenciales sobre el clima mundial. Aspecto coincidente con lo planteado por Schlaepfer, citado por OIMT (2003), el cual refiere que cuando el clima se torna más cálido las especies se " trasladan hacia arriba ", hacia el norte o hacia el sur; en general una pequeña elevación en altura corresponde a un

importante cambio en latitud; por ejemplo se estima que un aumento de 1 °C en la temperatura puede acusar el movimiento del área de dispersión de las plantas de 100 a 160 km hacia el norte (en el hemisferio norte), y que el efecto de este fenómeno dependerá de la velocidad de variación de las zonas climáticas y de la movilidad de las diferentes especies.

Algo similar comunicó Sorensen (1995), al inferir que el CC afectará los sistemas actuales de retención de carbono tales como los bosques de pantanos turbosos y otros bosques pluviales tropicales. El grado de competencia entre las especies es mayor en los bosques de gran diversidad; estas especies vegetales tienen complejos regímenes de polinización y dispersión, lo cual las hace más vulnerables a los efectos de los cambios fuera de sus procesos normales. Como consecuencia, se puede prever que los bosques de altos niveles de diversidad desaparecerán para convertirse en asociaciones con poca variedad de especies al sufrir las consecuencias del rápido CC en el planeta. Por otra parte, si se produce un calentamiento significativo del planeta, este efecto por sí solo provocará la pérdida permanente de los bosques pluviales, debido a una mayor aridez ecuatorial. La tendencia de un sudeste asiático más cálido y más seco con menos biomasa y mayores concentraciones de CO<sub>2</sub>, es exactamente lo que se prevé sucederá en base a la historia geológica.

Según OIMT (2003), entre las especies y las comunidades de plantas que muy probablemente se vean afectadas por el calentamiento de la Tierra, se incluyen las poblaciones periféricas de árboles en ecótonos, especies geográficamente localizadas sin poblaciones en otras áreas de hábitat adecuado, especies con limitada diversidad genética, especies adaptadas que requieran un espectro limitado de condiciones ambientales durante alguna fase de sus vidas, especies dispersoras deficientes de semillas, especies montañosas y alpinas, así como tipos de bosques de humedales costeros y de agua dulce.

Este planteamiento quedó demostrado en los estudios realizados por Hechavarría y Álvarez (2007) donde se obtuvo que el aumento en 2 °C de la temperatura mínima media anual en el macizo de *Guamuhaya* (zona montañosa central del sur de Cuba) produjo respuestas que, en 11 de los 12 niveles de adaptación al efecto invernadero evaluados, superaron la capacidad adaptativa correspondiente a cada nivel, generando alteraciones fenológicas diferenciadas para los años de mayor temperatura. Mientras que en respuesta al efecto invernadero *L. occidentalis* y *M. cubensis* mostraron modificaciones de la actividad vegetativa que garantizaron una mayor eficiencia en la actividad reproductiva, *J. jamaicensis* mostró cambios fisiológicos con incidencia en la maduración de los frutos, dividiendo la fructificación en dos períodos y disminuyendo su intensidad, comportamiento que puede conducir a pérdidas de material reproductivo. Ante un aumento de la temperatura mínima, en términos generales las fenofases vinculadas a la actividad vegetativa (permanencia del follaje y brotación) presentaron tendencias al retraso de su ocurrencia, en tanto que las fenofases relacionadas con la actividad reproductiva (floración y fructificación) presentaron tendencias al adelanto y al aumento de su intensidad. Estos resultados corroboraron los planteamientos descritos por Foroughbakhch *et al* (2002).

Según IPCC (2007 b), los principales cambios ocurridos en los sistemas atmosférico, climático y biofísico de la tierra durante el siglo XX son:

#### **Indicadores de concentración.**

- La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> aumentó de 280 ppm en el período 1000 – 1750, a 368 ppm en el año 2000 (aumento de 31% ± 4%).
- El intercambio de CO<sub>2</sub> entre la tierra y la biosfera fue una fuente emisora de unas 30 Gt C entre los años 1800 y 2000; sin embargo, durante la década de los años 90 fue un sumidero neto de unas 14% ± 7%.
- La concentración atmosférica de CH<sub>4</sub> aumentó de 700 ppb (ppb: parte por millar de millones) en el período 1000 – 1750, a 1750 ppb en el año 2000 (aumento de 151% ± 25%).

- La concentración atmosférica de  $\text{N}_2\text{O}$  aumentó de 270 ppb en el período 1000 a 1750, a 316 ppb en el año 2000 (aumento de  $17\% \pm 5\%$ ).
- La concentración troposférica de  $\text{O}_3$  aumentó en  $35\% \pm 15\%$  entre los años 1750 al 2000, con variaciones regionales.
- La concentración estratosférica de  $\text{O}_3$  disminuyó entre los años 1970 y 2000, variando según altitudes y latitudes.
- La concentración atmosférica de  $\text{HFC}_s$ ,  $\text{PFC}_s$  y  $\text{SF}_6$  incrementó globalmente durante los últimos 50 años.

### Indicadores del clima.

- La temperatura superficial media global aumentó  $0,6\text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$  durante el siglo XX; las áreas terrestres se calentaron más que los océanos.
- La temperatura superficial del hemisferio norte aumentó más durante el siglo XX que durante cualquier otro siglo en los últimos 1000 años; la década de los años 90 fue la más caliente del milenio y 1998 fue el año más caliente entre 1861 y 2000, según los registros instrumentales existentes (superado luego por el año 2005).
- El rango de la temperatura superficial diurna disminuyó entre los años 1950 y 2000 en áreas terrestres; sin embargo, las temperaturas mínimas nocturnas aumentaron al doble de la proporción en que lo hicieron las temperaturas máximas diurnas.
- La cantidad de días calientes y el índice de calor aumentaron.
- La cantidad de días fríos y con nevadas disminuyeron en casi todas las áreas terrestres durante el siglo XX.
- Las precipitaciones continentales aumentaron entre 5% y 10% durante el siglo XX en el hemisferio norte, aunque decrecieron en algunas regiones.
- Los eventos de lluvias fuertes aumentaron en las latitudes medias y altas.
- Aumentaron los veranos secos y la incidencia de la sequía asociada a ellos en algunas áreas. En algunas regiones, como en partes de Asia y de África, la frecuencia e intensidad de las sequías han incrementado en décadas recientes.

### **Indicadores físicos y biológicos.**

- El nivel medio global del mar aumentó a una proporción promedio anual de 1 mm a 2 mm durante el siglo XX.
- La duración de la cubierta de hielo de los ríos y lagos disminuyó en unas dos semanas durante el siglo XX en las latitudes medias y altas del hemisferio norte.
- El grosor del hielo en el océano Ártico disminuyó en 40% entre fines del verano y principios del otoño en décadas recientes y su extensión se redujo entre 10% y 15% en la primavera y el verano desde 1950.
- Los glaciares no polares se retiraron y dispersaron durante el siglo XX.
- La cubierta de nieve disminuyó en un 10% de área desde que se dispuso de observaciones globales por satélite, a partir de 1960.
- Los hielos perennes se descongelaron, calentaron y degradaron en partes de las regiones polares, subsolares y montañosas.
- El evento El Niño se volvió más frecuente, persistente e intenso durante los últimos 30 años, en comparación con los 100 años anteriores.
- La temporada de crecimiento de las plantas se alargó entre 1 y 4 días por década durante los últimos 40 años en el hemisferio norte, especialmente en las altas latitudes.
- La distribución de plantas y animales se movió hacia los polos y hacia las alturas en plantas, insectos, aves y peces.
- Se produjeron anticipaciones en la floración vegetal, en el arribo de las aves, en las estaciones de apareamiento y en la emergencia de insectos en el hemisferio norte.
- El blanqueo de los arrecifes de coral aumentó su frecuencia, especialmente durante los eventos de El Niño.

### **Indicadores económicos.**

- Las pérdidas económicas ajustadas por la inflación global aumentaron en su orden de magnitud durante los últimos 40 años. Parte de la tendencia creciente observada está vinculada a factores socio-económicos y parte, a factores climáticos.

En los últimos 3000 años la cantidad de biomasa terrestre se ha reducido una tasa de 13 millones de hectáreas por año. La mayor parte de esta reducción tuvo lugar en el último siglo. El índice actual de pérdida de especies y biomasa debido a cambios en la vegetación supera cualquier fenómeno de este tipo ocurrido en la historia geológica. Este es un fenómeno único, no sólo en lo referente al índice de cambios ambientales, sino también porque los índices de pérdida de biomasa (reducción de la capacidad de fotosíntesis y por ende, de retención de carbono) y de extinción de especies se han incrementado antes que se sienta el impacto total del CC y no como una consecuencia de dicho cambio (Anónimo, 2000).

Entre algunas de las alteraciones que tal cambio climático podría provocar en los ecosistemas forestales de los trópicos húmedos, están, según OIMT (1994).

- mayor respiración, transpiración y evaporación de plantas, vegetación y superficie de suelos;
- ciclos de nutrientes más rápidos y mayor lixiviación del suelo;
- mayor actividad de plagas y enfermedades;
- mayor peligro de derribamientos por tormentas;
- mayor frecuencia y caídas más violentas de rayos en las cubiertas de copas forestales;
- mayor riesgo de incendios;
- mayor estrés calórico y de sequías sobre árboles de copas;
- un movimiento ascendente de las zonas altitudinales.

Parte de lo aseverado o comunicado por la cita anterior, se comprueba en el Informe Final dado por Arteaga y col (2008) sobre las plagas y enfermedades transfronterizas y su relación con el cambio climático donde se refiere que en el caso de las especies forestales arbóreas, eventos extremos como la sequía pueden aumentar el riesgo de invasión por *Armillaria spp.*, que de ocurrir afectaría considerablemente los bosques naturales y plantaciones de coníferas del país; *Lecanosticta acicola*, hongo patógeno defoliador de las coníferas, ha sido registrado solamente en la región oriental de Cuba, donde causó grandes afectaciones en la década de los 80, pero el aumento de la temperatura en la región occidental puede causar su migración y poner en riesgo a las



dos especies de pino oriundas de allí; entre los termites subterráneos, *Coptotermes formosanus* es una plaga cuarentenada que presenta un alto potencial de entrada, de establecimiento y de diseminación, máxime cuando la temperatura óptima para la existencia de estos organismos está entre 28 °C y 30 °C y por último, la chinche harinosa rosada (*Macollenicoccus hirsutus*) es una especie que, aunque afecta muchas especies agrícolas también daña especies arbóreas y presenta actualmente un amplio espectro de distribución en la región, en los países que rodean a Cuba.

Robledo (2004) señala que en México e Indonesia, una de sus principales vulnerabilidades es un aumento de los incendios forestales; en otros casos, los cambios proyectados en la morfología de los bosques y la disminución de los recursos hídricos en las próximas dos décadas atentarían contra la producción de madera.

### **Veinte conclusiones de la Tercera Evaluación del IPCC sobre el Cambio Climático (2001), de interés para el Sector Agrario.**

Según Álvarez (2006) en los Ecosistemas terrestres y de agua dulce, se infiere que:

- Las poblaciones de muchas especies ya están amenazadas y se espera que sean colocadas en un mayor riesgo por la sinergia entre el stress del cambio climático; la conversión de partes del hábitat actual en áreas inapropiadas para ellas y, el cambio del uso de la tierra que fragmenta los hábitat.
- Ahora existen numerosos estudios experimentales y observaciones que demuestran el vínculo existente entre el cambio climático y los cambios en los procesos físicos o biológicos en los ecosistemas.
- En los pequeños estados insulares el cambio climático futuro afectará los cambios en la composición y la competencia entre especies. Los modelos de distribución de la vegetación sugieren que el movimiento de la masa de los ecosistemas o bioma no es probable que ocurra, debido a las diferencias de tolerancia climática de las especies implicadas, a sus diferentes habilidades migratorias y a los efectos de las especies invasoras. Sin embargo, la

composición y dominancia de las especies cambiará, originando tipos de ecosistemas muy diferentes a los hoy existentes.

- Recientes estudios de modelación continúan mostrando la potencialidad de que ocurran significativas rupturas de los ecosistemas bajo el cambio climático.
- El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> incrementaría la productividad primaria neta (crecimiento vegetal, caída del follaje y mortalidad) en la mayoría de los ecosistemas, mientras que el aumento de la temperatura puede tener efectos positivos o negativos.
- Se espera que la productividad de los bosques existentes en las áreas áridas o semiáridas disminuya, debido a que el cambio climático reduciría la humedad disponible en el suelo. El aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> puede contrarrestar esta situación, pero muchas de estas áreas son afectadas por El Niño o La Niña, otros eventos climáticos extremos y perturbaciones como el fuego.
- Algunos humedales serán reemplazados por bosques o por áreas arbustivas.
- Las oportunidades de adaptación de los ecosistemas de altura a los cambios esperados están limitadas, porque estos sistemas responderán más fuertemente a los cambios del clima inducidos globalmente. Los altos niveles de endemismo en muchas floras de altura y su inhabilidad para migrar hacia arriba, significa que estas especies son muy vulnerables.
- Contrario a lo planteado hasta ahora, los estudios globales del mercado de la madera que incluyen las adaptaciones mediante el manejo de la tierra y de los productos sugieren, que el cambio climático incrementaría el suministro global de madera.

Por otra parte, el autor anteriormente citado, comunica que en las zonas costeras y ecosistemas marinos.

- El cambio climático global originará aumentos en la temperatura superficial del mar, en el nivel del mar y cambios en la salinidad. Algunos de estos cambios ya están ocurriendo.
- Muchas áreas costeras ya están experimentando niveles crecientes de inundaciones marinas, una acelerada erosión e intrusiones de agua de mar en

fuentes de agua dulce. Estos procesos serán exacerbados por el cambio climático y por el aumento del nivel del mar.

- Los ecosistemas costeros tales como los manglares serán impactados por el aumento del nivel del mar, de su temperatura superficial y por cualquier cambio en la frecuencia e intensidad de las tormentas. En los pequeños estados insulares los manglares, que regularmente permanecen en condiciones ambientales estables, serán adversamente afectados por el aumento de la temperatura del aire y del mar, así como por el nivel del mar.

## **Conclusiones de la IV Evaluación del IPCC sobre el Cambio Climático (2007).**

### **Nivel de conocimiento actual sobre impactos futuros.**

#### **a) Impactos por regiones, principalmente en desarrollo.**

##### **Estados insulares.**

- Deterioro de las condiciones costeras por erosión de las playas o blanqueamiento de corales afectará los recursos locales y reducirá los valores turísticos.
- El aumento del nivel del mar aumentará las inundaciones, surgimiento de las tormentas, erosión amenazando la infraestructura y asentamientos costeros.
- A mediados de siglo, disminuirán los recursos hídricos, los cuales serán insuficientes para satisfacer la demanda en la temporada de sequía.
- Con aumento de las temperaturas se espera que ocurra una invasión creciente de especies no nativas, principalmente las islas de mediana y altas latitudes.

##### **América Latina.**

- Los bosques amazónicos serán reemplazados por sabanas trayendo consigo importantes pérdidas de la diversidad biológica al convertirse la vegetación en monte típico de zonas áridas y semiáridas), pues los suelos en esta región son muy ácidos y delgados (tienen poca materia orgánica).
- Consecuencias adversas para la seguridad alimentaria al producirse la salinización y desertificación de las tierras agrícolas.
- Pérdidas en las áreas pesqueras del Pacífico suroriental.

- Afectación de la disponibilidad de agua de forma significativa al ocurrir cambios en los patrones de lluvia.

### **África.**

- Para el 2020 entre 75 y 250 millones de personas se verán expuestas a un aumento del stress hídrico ocasionado por la falta de agua potable.
- Disminuirá la producción agrícola y acceso a los alimentos.
- La pesca en lagos y mares disminuirá, se degradarán los manglares y corales.

### **Asia.**

- Se estima que en la próximas tres décadas el derretimiento de los glaciares del *Himalaya* afectará los recursos hídricos, aumentarán las inundaciones y avalanchas.
- Para el 2050 la disponibilidad de agua disminuirá en casi toda la región.
- Aumentarán las enfermedades.
- Aumentará el riesgo por el hambre.
- Los rendimientos agrícolas se estiman que aumenten en un 20% en algunas regiones, pero en otras disminuirán en un 30% abarcando casi a todo el continente.

## **b) Impactos por sistemas.**

### **Sector hídrico.**

- Disminución de la disponibilidad de agua entre un 10% a 30% en algunas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos.
- Aumentarán las áreas afectadas por la sequía en extensión y por eventos de lluvias fuertes que aumentarán su frecuencia.
- El agua de los glaciares y la cubierta de nieve disminuirá reduciendo la disponibilidad de agua en los lugares donde vive más de una sexta parte de la población mundial.

### **Sector natural.**

- Se estima que la retención neta de carbono de los bosques alcance su valor máximo antes de mediados de siglo y luego disminuya o se invierta, amplificando el CC.

- Se esperan cambios mayores en la estructura y funciones de los ecosistemas, en las interacciones ecológicas de las especies y en los rangos geográficos de las mismas con un aumento de temperatura global entre 1.5°C a 2.5°C, ocasionando efectos negativos sobre la biodiversidad y los bienes y servicios de los bosques.
- La acidificación de los océanos tendrán impactos negativos sobre los organismos que forman conchas así como en sus especies dependientes.

### **Alimentos, fibras y productos forestales.**

- En los países en vías de desarrollo la productividad disminuirá sobre todo en las estaciones secas y tropicales con incrementos de temperatura de 1.2°C.
- La productividad comercial de la madera aumentará modestamente con el CC con una gran variabilidad regional.

### **Sistemas costeros y zonas bajas.**

- Aumentarán los riesgos por el aumento del nivel del mar.
- Aumento del blanqueo de los corales por el aumento de la temperatura entre 1°C a 3°C.
- Aumentarán los riesgos incluyendo la erosión costera debido al CC y al aumento del nivel del mar.
- Los salitrales y manglares serán negativamente afectados por el aumento del nivel del mar.
- Las áreas densamente pobladas y bajas estarán especialmente en riesgos.

### **Salud.**

- Afectaciones sanitarias especialmente en aquellas con baja capacidad adaptativa mediante el incremento de las muertes por enfermedades diarreicas por la disminución de la calidad del agua por las inundaciones; aumento de las enfermedades respiratorias por el incremento de la temperatura; aumento de la malnutrición.

## **Formas para contrarrestar los efectos del cambio climático.**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ha aceptado la ocurrencia de un cambio climático antropogénico y para ello se han identificado dos estrategias principales para reducir sus efectos adversos: **Adaptación** y **Mitigación**; la primera se centra en las acciones a ejecutar sobre los efectos para maximizar los impactos positivos y minimizar los impactos negativos. La segunda se concentra en reducir las emisiones de GEIs y aumentar los sumideros.

### **Adaptación**

Se define como el proceso que se puede implementar localmente para aprovechar los impactos positivos o para disminuir el efecto de los negativos.

Se refiere a todas las respuestas y ajustes que se pueden emplear para reducir la vulnerabilidad y reforzar la capacidad del sistema para recuperarse (Anónimo, 1997).

Por su parte, Álvarez (2006) plantea que la adaptación es el conjunto de acciones que de forma consciente se realicen, en aras de maximizar los impactos positivos o de minimizar los negativos y por tanto, se caracteriza por incidir sobre los efectos del cambio climático, o sea comprende las acciones para disminuir la vulnerabilidad al CC (Anónimo, 2007).

FAO (2003) citando a Spiecker, Lindner y Kahle, señala que los forestales han formulado y aplicado estrategias para proteger los bosques frente al CC y **Adaptar** su ordenación ha dicho cambio; en muchos casos, éstas suponen además una buena ordenación en las condiciones actuales y el CC no hace sino acentuar su importancia. En ocasiones, las adaptaciones que tienen lugar en este momento pueden reducir en el futuro el rendimiento de madera y la cantidad de carbono almacenado, pero, al mismo tiempo, es posible que aumenten la duración del almacenamiento y la diversidad biológica.

Entre las medidas propuestas por la FAO se encuentran la selección de especies y procedencias, y la introducción de especies exóticas; el establecimiento de una correspondencia entre las especies, las procedencias y los lugares; adaptar la densidad de plantación; favorecer la existencia de bosques mixtos, dotados de una diversidad estructural y disetáneos; evitar el monocultivo; promover la resistencia al viento; adaptar los cuidados culturales y el aclareo; adaptar los turnos de corta, las técnicas de aprovechamiento, la nutrición de los rodales en correspondencia con el mayor crecimiento, los métodos de lucha contra los incendios al CC y el crecimiento de los bosques, la regeneración a los cambios registrados en la reproducción y competencia; rehabilitar los bosques degradados; sustituir gradualmente los rodales externos; reducir la fragmentación de los bosques; etc.

Según Álvarez (2006) las **Opciones de adaptación o estrategia** general en el Sector Agrario Cubano deberán garantizar el uso racional y protección de los recursos hídricos, la conservación y protección de las áreas de manglares, el perfeccionamiento de la agricultura y la conservación y protección de los recursos forestales, el adecuado empleo del ordenamiento territorial de uso de la tierra, la protección de la biodiversidad y de la vida silvestre. Entre las medidas planteadas para dicho sector, se encontraron:

- Construcción de presas y otras obras hidráulicas.
- Modificaciones en el diseño y forma de explotación de los pozos.
- Regulaciones del consumo del agua e introducción de tecnologías que garanticen su uso racional.
- Programas integrados de manejo costero.
- Regionalización de cultivos agrícolas.
- Selección e introducción de variedades agrícolas.
- Perfeccionamiento de la disciplina tecnológica agrícola.
- Perfeccionamiento del sistema de vigilancia de la sanidad vegetal y animal.
- Reforzamiento del programa de reforestación.
- Aprovechamiento planificado de los recursos forestales en peligro.

- Incremento de la cantidad de áreas protegidas e implementación de una estrategia conservacionista.
- Creación de zonas costeras protegidas.

**Avances del sector agrario (subsector forestal cubano) posteriores a la Primera Comunicación Nacional.**

Según Álvarez (2006) hasta la fecha se cuenta con:

<b>Vulnerabilidad y Adaptación</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Trabajos del Grupo de Cuencas Hidrográficas.</li><li>• Programa nacional de reforestación.</li><li>• Análisis sistemático de las vulnerabilidades de los bosques naturales.</li><li>• Formulación de la estrategia de adaptación para tres empresas forestales.</li><li>• Evaluación del efecto del aumento atmosférico del CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis de diferentes especies.</li></ul>



### **Parte III. Mitigación al cambio climático. El cambio climático y los bosques: El ciclo del carbono.**

Uno de los puntos clave para contrarrestar los impactos a esperar es la mitigación, siendo una de las formas para llevar a vías de hecho la valoración de los bosques por su capacidad de retener CO<sub>2</sub> atmosférico y almacenarlo en la biomasa.

Los bosques juegan un rol significativo en el sistema climático. Los árboles son organismos que almacenan carbono a través de su vida y lo liberan por medio de la descomposición. El carbono perdido o ganado por ellos constituye un resultado de actividades tales como la forestación, reforestación o deforestación; el clima afecta el crecimiento de estos, su estructura y función (Bravo *et al*, 2008).

En el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se ofrece una nueva posibilidad para la valoración de los bosques por su capacidad de retener el carbono de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa y los suelos durante largos períodos de tiempo. Los bosques tienen una capacidad limitada para adaptarse al cambio climático (OIMT 2002 a), y son a la vez sumidero de CO<sub>2</sub> atmosférico. Absorben carbono por fotosíntesis, pero emiten carbono por descomposición y por la quema de árboles debido a causas antrópicas y naturales. La gestión de los bosques para conservar y aumentar su carbono almacenado ayudará a reducir la tasa de aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y estabilizar las concentraciones atmosféricas. Aunque algunas tierras degradadas no sean apropiadas para la silvicultura, existe un considerable potencial de mitigación mejorando la gestión de tierras forestales para la conservación, almacenamiento y sustitución de carbono, acordes con otros objetivos. (GIECC, 2005).

### **El ciclo del carbono.**

En la naturaleza tienen lugar de forma cíclica una serie de reacciones químicas, e intercambios entre la atmósfera, el suelo y los seres vivos, en las cuales participan compuestos del carbono (*ciclo biogeoquímico del carbono*) y el nitrógeno de la materia orgánica (*ciclo biogeoquímico del nitrógeno*). Son procesos regulares y básicos para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra, donde el carbono es parte fundamental y soporte de los organismos vivos, discurriendo en un ciclo de energía que fluye a través del ecosistema terrestre (Anónimo, 2005 a).

Según Houghton (1997), el ciclo del carbono es un proceso mediante el cual el dióxido de carbono es transferido en la naturaleza entre un número de reservorios naturales de carbono.

El ciclo del carbono en el bosque envuelve la entrada, almacén, transferencia y salida de carbono entre dos grandes pool: vegetación y suelos (Moreno y Oberbauer, 2008).

FISICANET (2005), agrega que el Ciclo del Carbono en ecología, no es más que el ciclo por el que la energía fluye a través del ecosistema terrestre. El ciclo básico comienza cuando las plantas, a través de la fotosíntesis, hacen uso del dióxido de carbono presente en la atmósfera o disuelto en el agua. Parte de este carbono pasa a formar parte de los tejidos vegetales; el resto es devuelto a la atmósfera o al agua mediante la respiración. Así, el carbono pasa a los herbívoros que comen las plantas. Gran parte de éste es liberado en forma de CO<sub>2</sub> por la respiración, pero parte se almacena en los tejidos animales y pasa a los carnívoros, que se alimentan de los herbívoros. En última instancia, todos los compuestos del carbono se degradan por descomposición, y el carbono es liberado en forma de CO<sub>2</sub>, que es utilizado de nuevo por las plantas. Coincide en tales planteamientos, Anónimo (2005 a), quien manifiesta que mediante la fotosíntesis, las plantas absorben el dióxido de carbono existente en el aire o el agua y lo acumulan en los tejidos vegetales en forma de grasas, proteínas e hidratos de carbono. Posteriormente, los animales herbívoros se alimentan de estos vegetales, de los que obtienen energía, para después, siguiendo las cadenas tróficas,

transferir esa energía a los demás niveles (carnívoros que se alimentan de los herbívoros). Esa energía sigue varios caminos: por un lado es devuelta a la atmósfera como dióxido de carbono mediante la respiración; por otro lado se deriva hacia el medio acuático, donde puede quedar como sedimentos orgánicos, o combinarse con las aguas para producir carbonatos y bicarbonatos (suponen el 71% de los recursos de carbono de la Tierra). En su acumulación, en las zonas húmedas, genera turba, resultado de una descomposición incompleta, lo que da lugar a la formación de depósitos de combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas natural.

A escala global, el ciclo del carbono implica un intercambio de CO<sub>2</sub> entre dos grandes reservas: la atmósfera y las aguas del planeta. El CO<sub>2</sub> atmosférico pasa al agua por difusión a través de la interfase aire-agua. Si la concentración de CO<sub>2</sub> en el agua es inferior a la de la atmósfera, éste se difunde en la primera, pero si la concentración de CO<sub>2</sub> es mayor en el agua que en la atmósfera, la primera libera CO<sub>2</sub> a la segunda. En los ecosistemas acuáticos se producen intercambios adicionales. El exceso de carbono puede combinarse con el agua para formar carbonatos y bicarbonatos. Los carbonatos pueden precipitar y depositarse en los sedimentos del fondo. Parte del carbono se incorpora a la biomasa (materia viva) de la vegetación forestal y puede permanecer fuera de circulación durante cientos de años. Los recursos totales de carbono, estimados en unos  $44.443 \times 10^{12}$  kg, se distribuyen en formas orgánicas e inorgánicas. El carbón fósil representa 22% del total. Los océanos contienen 71% del carbono del planeta, fundamentalmente en forma de iones carbonato y bicarbonato.

Un 3% adicional se encuentra en la materia orgánica muerta y el fitoplancton. Los ecosistemas terrestres, en los que los bosques constituyen la principal reserva, contienen alrededor de 3% del carbono total. El 1% que queda se encuentra en la atmósfera, circulante, y es utilizado en la fotosíntesis (FISICANET, 2005) y el 22% restante permanece fuera del ciclo en forma de combustibles fósiles y depósitos calizos (Anónimo, 2005 a).

El ciclo global del carbono puede expresarse en términos de un simple sistema de flujos positivos y negativos (PNUD, 2007).

El ciclo del carbono queda completado gracias a los organismos descomponedores, los cuales llevan a cabo el proceso de mineralizar y descomponer los restos orgánicos, cadáveres, excrementos, etc. Además de la actividad que llevan a cabo los reinos vegetal y animal en el ciclo del carbono, también entra dentro de éste el carbono liberado mediante la putrefacción y la combustión (Anónimo, 2005 a).

Tanto el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como el metano son gases de efecto invernadero: atrapan parte del calor del sol cuando se refleja desde el suelo, con lo que se reduce la cantidad que vuelve a escapar al espacio. Ambos son fruto de procesos naturales y crean un efecto invernadero natural, gracias al cual el planeta está unos 35 °C más caliente de lo que estaría de no ser así (Ball, 2002).

Actualmente, la combustión de los combustibles fósiles, a la vez que se destruyen más bosques que los que regeneran, provoca que se incremente el dióxido de carbono emitido a la atmósfera; el resultado es el conocido efecto invernadero, que podría alterar el clima mundial en las próximas décadas, provocando un *desbalance en el ciclo del carbono*.

Antes de que las actividades humanas provocaran un desbalance significativo y sobre períodos cortos comparados con la escala del tiempo geológica, los cambios entre los reservorios eran marcadamente constantes. Por muchos miles de años antes de iniciarse la revolución Industrial alrededor de 1750, se mantuvo un estado balanceado tal que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, medida en las capas de hielo, era de 10 partes por millón de un valor medio de cerca de 208 ppm por volumen. La revolución Industrial rompió este balance actuando sobre la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico el cual incrementó 30%, de 208 ppmv alrededor del año 1700 a un valor superior a 360 ppmv en el presente (Houghton, 1997).

Ahora, este calentamiento global natural se está viendo complementado por el inducido por las actividades humanas. Durante los últimos 200 años -desde la Revolución Industrial- la cantidad de CO<sub>2</sub> y metano de la atmósfera se ha incrementado notablemente por la combustión de combustibles fósiles -carbón, petróleo y gas- y como resultado de la agricultura, respectivamente (Ball, 2002).

Tan es así, que según Field (1994), los cambios previstos en los GEI para el 2100 son los siguientes:

<b>GEI</b>	<b>1990</b>	<b>2100</b>
CO <sub>2</sub>	353 ppm	840 ppm
Metano	1.72 ppm	4 ppm
CFC-11	280 pptv	630 pptv
CFC-12	480 pptv	1400 pptv
Oxido nitroso	310 ppbv	420 ppbv
Temperatura media mundial		+ 3.0°C
Nivel del mar medio mundial		+ 60.0 cm

En los últimos 150 años la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha aumentado en 26% y se estima que 65% de dicho aumento fue provocado por la combustión de combustibles fósiles y 35% por cambios en el uso de tierras. De continuar con esta situación se estima que para el año 2050, se habrá duplicado con respecto a los niveles de antes de 1750 y para el año 2100, se habrá triplicado (Field, 1994).

Las mediciones realizadas desde 1959 por un observatorio próximo a la cumbre de Mauna Loa en Hawai muestra que el CO<sub>2</sub> se incrementa en un promedio anual cerca de 1.5 ppmv, aunque las variaciones son amplias anualmente. Este incremento extendido a través de la atmósfera adiciona cerca de 3.3 mil millones de toneladas (o giga toneladas Gt) a los reservorios del carbono atmosférico cada año; dificultándose estimar la cantidad emitida a la atmósfera debido al uso de combustibles fósiles, a los cambios del uso de la tierra y la tala de los bosques (Houghton, 1997).

Se plantea que entre 1990 y 2003 las emisiones se han incrementado en 12.4%, mostrándose una media histórica de 76% de emisiones de CO<sub>2</sub> desde 1852 a 2002, destacándose EEUU con una emisión superior al 20% (Anónimo, 2007).

A partir de diferentes escenarios del IPCC y otros posteriores, para el 2030 y 2100, tomando como línea base el año 2000, se espera un incremento de las emisiones de GEIs (IPCC, 2007).

Incluso un pequeño cambio -unos pocos grados celsius- en la temperatura media global, tendría un inmenso impacto en los patrones climáticos. Sin embargo, la cantidad de dióxido de carbono que se inyecta colectivamente en el aire sólo supone aproximadamente 10% de la cantidad que se libera por procesos naturales. La razón por la que el Efecto Invernadero Natural no es mucho mayor es, porque los gases de carbono generados de forma natural también vuelven a ser eliminados por los procesos geológicos y biológicos. De esta forma, el ciclo del carbono parte de la atmósfera y llega a ella de forma equilibrada: las fuentes se ven contrarrestadas por los sumideros, con lo que se crea un contenido bajo y estable de carbono en el aire, en ausencia de intromisiones humanas. El dióxido de carbono del aire se elimina por la fotosíntesis. Las plantas utilizan la luz solar para convertir el CO<sub>2</sub> en las moléculas de carbono contenidas en sus células y tejidos. Sin embargo, el carbono se vuelve a liberar cuando las plantas mueren y se descomponen. Y algunos microbios del suelo fabrican gas metano (Ball, 2002).

En los últimos 120 millones de años, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha sido entre 7 y 11 veces mayor que la actual y, en consecuencia, los cambios del nivel del mar en el planeta han excedido los 300 metros (Sarre, 1994).

Se calcula que hoy día las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la actividad humana son 7.5 billones de toneladas de carbono al año, de las cuales entre 1.5 y 1.8 billones de toneladas están relacionadas con los bosques (según algunas fuentes estas cifras pueden ser aún mas altas). Los gases de efecto invernadero producidos por la deforestación son, en su mayoría, dióxido de carbono y en menor

grado metano y monóxido de carbono. La deforestación de los trópicos es uno de los problemas ambientales más serios que enfrentan los países en vías de desarrollo en términos de su impacto catastrófico y consecuencias a largo plazo en la biodiversidad, en la pérdida de oportunidades económicas, en los problemas sociales que crea y su contribución al cambio climático del planeta (GIECC, 2005).

Según Houghton (1997) cerca del 95% de la quema de combustibles fósiles ocurre en el hemisferio septentrional (Norte), por tanto aquí las concentraciones de CO<sub>2</sub> es más alta que en el hemisferio Meridional (Sur), siendo la diferencia de aproximadamente dos ppm. Los procesos que contribuyen al ciclo del carbono tienden a ser importantes en la determinación de los cambios de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y en los océanos. Los resultados de los modelos computarizados simuladores del ciclo del carbono, estiman que cerca de 2 Gt (+/-0.8Gt) de dióxido de carbono que se adiciona a la atmósfera cada año, muere en los océanos. Para completar el ciclo del carbono se necesita adicionar los efectos de los cambios en la biosfera terrestre (regeneración de los bosques y el efecto de la " fertilización " del dióxido de carbono, los efectos del uso de fertilizadores nitrogenados y los efectos de algunos cambios en el clima.

### **Formas para contrarrestar las causas del cambio climático.**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ha aceptado la ocurrencia de un cambio climático antrópico y para ello se han identificado entre las estrategias principales para reducir sus causas a la **Mitigación**.

### **Mitigación.**

Álvarez (2006) la define como el conjunto de acciones económicas, sociales o ambientales capaces de atenuar el cambio climático, ya sea mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por el aumento de las absorciones de los GEI, por el aumento del secuestro y retención de carbono o por la combinación de estas acciones. En tal sentido, la mitigación queda entonces constituida por todas las acciones que inciden sobre las causas del cambio climático.

En síntesis, no es más que un grupo de acciones para reducir emisiones netas de CO<sub>2</sub> (Anónimo, 2007).

La energía de la biomasa, en particular la dendroenergía, es un componente vital de las estrategias futuras de reducción de las emisiones de GEI. Según se estima representará hasta el 30% de reducción total de las emisiones entre el 2030 y 2050. En muchos países industrializados la dendroenergía es un componente importante de sus iniciativas de reducción de las emisiones (FAO, 2003).

Asquith (2000), señala la existencia de tres formas de retener carbono en los bosques: mediante la plantación de árboles para la eliminación y secuestro del CO<sub>2</sub> atmosférico; mediante el mantenimiento de depósitos de carbono y prolongamiento de su almacenamiento en la biomasa y una tercera, mediante la conservación y protección de los bosques. Estos aspectos que revitalizan lo referido por GIECC (2005), los cuales señalaban que las prácticas de ordenación forestal que pueden limitar la tasa de aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera pueden agruparse en tres categorías: i) ordenación para la conservación del carbono, ii) ordenación para el secuestro y almacenamiento de carbono; iii) ordenación para la sustitución de carbono; donde las prácticas de conservación comprenden opciones como el control de la deforestación, la protección de los bosques en reservas, la modificación de los regímenes de explotación y el control de otras perturbaciones antrópicas, como los incendios y los brotes de plagas. Las prácticas de secuestro y almacenamiento comprenden la expansión de ecosistemas forestales aumentando la superficie y/o, la biomasa y la densidad de carbono en el suelo de bosques naturales y de plantaciones, así como aumentar el almacenamiento en productos de madera duraderos. Con las prácticas de sustitución se trata de incrementar la transferencia de carbono de la biomasa forestal a productos, en vez de utilizar energía y productos basados en combustibles fósiles, productos a base de cemento y otros materiales de construcción distintos de la madera.



Estos planteamientos también son sugeridos por Bravo *et al* (2008) al referir que el manejo del bosque es el factor clave en la mitigación de los efectos del cambio climático. Con ellos se pueden trazar un número de estrategias, entre las que se pueden incluir la modificación de la composición de especies y tamaño de distribución de los árboles; promoviendo las plantaciones de árboles genotípicamente más resistentes y plantando árboles para proveer sombra, estabilidad en los suelos para disminuir el impacto esperado de los cambios en la precipitación y la temperatura.

Entre las propuestas para moderar el incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico se encuentra la posibilidad de reforestar los terrenos degradados para captar y retener el C o de utilizar los aprovechamientos sostenibles de los bosques para sustituir a los combustibles fósiles. El almacenamiento *in situ* del C en los bosques y el aprovechamiento de éstos para la obtención de un flujo sostenible de productos forestales no son necesariamente opciones conflictivas, si se admite que sus ventajas relativas para moderar las emisiones netas de C dependen de factores específicos de la estación como la productividad del bosque y la eficacia con que se utiliza el material aprovechado. Como las tierras disponibles para reforestación o para el desarrollo de plantaciones forestales son limitadas, habrá que considerar las ventajas relativas de las diferentes estrategias de moderación.

Cuando se utilizan de forma ineficiente los productos forestales obtenidos de forma sostenible con el fin de sustituir los combustibles fósiles, el mayor beneficio de C se logra mediante la reforestación y la protección de los bosques existentes, mientras el aumento de la tasa de crecimiento de las masas produce poco beneficio. Sin embargo, cuando se utilizan eficientemente los productos forestales para sustituir a los combustibles fósiles, el aprovechamiento sostenible produce los mayores beneficios netos de C, aumentando rápidamente el beneficio cuando aumenta la productividad (Marland y Schlamadinger, 1998).

La revista popular *Science*, según Del Valle (2005 a), comenta la realización de una serie de proyectos sofisticados con el objetivo de **Mitigar** el cambio global que ha promovido la comunidad internacional, entre los que se propone el "enterramiento" del

CO<sub>2</sub> en un estado conocido como supercrítico, así como otros GEI como el metano; sin embargo, alega el autor, la mayoría de los ambientalistas del mundo aseguran que el verdadero problema sigue siendo los niveles crecientes de contaminación industrial.

Los negociadores de la CMCC señalan que la reforestación y la forestación son dos prácticas de uso de los suelos incluidas en el Mecanismo de Desarrollo Limpio para ayudar a reducir la concentración de carbono en la atmósfera (OIMT, 2001).

La estrategia con este objetivo debe estar encaminada hacia tres aspectos fundamentales tales como el secuestro y almacenamiento del carbono mediante el incremento de la superficie boscosa; la conservación del carbono mediante el control de la deforestación; y la sustitución del carbono mediante la sustitución de combustible fósil por alternativas de "combustible limpio", como paneles solares, energía eólica, etc.

Se estimó que en las dos pasadas décadas, solamente las actividades del cambio del uso de la tierra presentó una emisión neta de 1,7+/- 0,8 GtC/año durante los años 80 y 1,6 +/- 0,8 GtC/año en los años 90 con un flujo entre 8-9 GtC/año en lo que va de transcurso en el presente siglo. La deforestación contribuye aproximadamente 18% de las emisiones globales de carbono, lo cual contribuirá a 40 GtCO<sub>2</sub> adicionales entre 2008 y 2012 de no tomarse acciones rápidas (Rollinson, 2007).

Álvarez (2006) argumenta que para la **Mitigación del cambio climático**, aunque en la Primera Comunicación Nacional de Cuba no fueron incluidas acciones de mitigación vinculadas a los Subsectores Agrícola y Pecuario, con respecto al Subsector Forestal, se propuso:

- Incremento del área de bosques productivos mediante el aumento de 180 Mha, hasta alcanzar un nivel de cobertura del 29.4 % en el 2015.
- Aumento del uso de los productos madereros duraderos, tales como la madera aserrada, los tableros, postes y traviesas de ferrocarril, lo cual puede alcanzar un incremento del 70 % hasta el 2015.

- Sustitución de combustibles fósiles por biomasa forestal, principalmente mediante el empleo de los residuos madereros en las instalaciones forestales y la producción de leña sobre bases sostenibles.

Tan importante resultan estas acciones que, según Matthews *et al* (2007), en el caso de la segunda acción, estimaciones realizadas en los EUA durante 1990 se constató que la cantidad de carbono en los productos maderables fue 2,7GtC (20% de la cantidad de carbono en los bosques) para un incremento de 0,06 GtC/año. Alega el autor, que por ejemplo 3,1 billones m<sup>3</sup>/año de madera rolliza retienen 0,71 GtC/año; 1,5 billones m<sup>3</sup>/año de leña 0,37 GtC/año con un flujo promedio de carbono de 7,5 tC/año; 0,42 billones m<sup>3</sup>/año de madera aserrada 0,09 GtC/año; una casa o almacén de madera con un promedio de vida de 50 años, almacena 15t de carbono presentando un flujo de 0,3 tC/año.

Según IPCC (2007c), las potencialidades para mitigar el cambio climático están evaluadas en dependencia de la visión de los países interesados; cuando ésta abarca a los países productores, o sea, aquellos en vías de desarrollo, los límites se registran entre unas 5 Gt CO<sub>2</sub> a 30 Gt CO<sub>2</sub>. Sin embargo, cuando esta visión comprende hacia los países desarrollados los límites disminuyen, centrándose entre 9 Gt CO<sub>2</sub> a 25 Gt CO<sub>2</sub> equivalente; por ejemplo Canadá, país que más se acercaba a la disminución de sus emisiones, en el 2006 se encontraba a un 25% por encima de lo previsto a reducir. La propia documentación señala que el potencial de mitigación en el sector forestal se encuentra entre los más bajos (1.3 Gt CO<sub>2</sub>/año a 4.2 Gt CO<sub>2</sub>/año), teniendo la mayor parte los países en vías de desarrollo al poseer la mayor cobertura boscosa. Los sectores de energía, transporte, construcción, industria y agricultura representan los más emisores a nivel mundial, sobre todo el sector de la construcción, por lo que necesitan mitigar mucho más.

### **El Mecanismo de Desarrollo Limpio.**

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) constituye una de las tres alternativas de mitigación que el Protocolo de Kyoto estableció para lograr las reducciones de emisiones de GEI y es la única de las tres que permite la participación de los Países No Anexo-1 en el alcance de esos objetivos. En esencia es un proceso mediante el cual un País Anexo-1 (desarrollado) entrega financiamiento a un País No Anexo-1 (en vías de desarrollo), con el fin que este último implemente acciones convenientes para su desarrollo pero que, además, reduzca sus emisiones o aumente sus sumideros en determinada magnitud. Una vez comprobado que la reducción de emisiones o el aumento de sumideros se materializó en la magnitud prevista, el valor así alcanzado se acredita mediante certificaciones al País Anexo-1 que facilitó el financiamiento y se le considera como parte del cumplimiento de sus compromisos con la Convención. Diversos países de la región han obtenido sustanciales financiamientos mediante proyectos MDL, en especial Costa Rica.

Entre las actividades comprendidas dentro del MDL se encuentran la forestación y reforestación. Estas son actividades inducidas directamente por acciones antrópicas que incluyen revegetalización, manejo de bosques, manejo de cultivos y pastoreo. Lamentablemente las acciones de conservación fueron excluidas del MDL, al menos durante el primer período de compromiso. Dentro de los proyectos de AR (aforestación y reforestación) se encuentran las plantaciones comerciales, en las que el carbono es fijado y luego liberado a la atmósfera o transferido a los productos de madera finales (Gutiérrez, 2003 a).

Según el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC, 2004), los bosques naturales o artificiales de gran tamaño podrían ser preservados a cambio de un pago a sus países dueños, con lo que se garantizaría la existencia por varias décadas de los pulmones vegetales existentes en el mundo.

En teoría, los países emisores podrían compensar al mundo si pagan por crear y mantener un área de bosque que sea capaz de extraer el carbono del aire y almacenarlo en el suelo.

La ventaja es que este bosque creado puede estar en cualquier lugar del mundo y no necesariamente en el país de origen de las emisiones. En conjunto, la meta es aumentar la capacidad del planeta para reabsorber el dióxido de carbono, a la vez que se disminuyen las emisiones contaminantes en los cinco continentes. También refirió que, al comercializar la captura de CO<sub>2</sub> de los bosques de Uverito, se generaría un impacto social positivo en el sur de Anzoátegui y Monagas, pues la empresa debería mejorar el manejo de sus equipos, materiales y viveros, involucrando además a las comunidades aledañas en este nuevo negocio.

### **El secuestro de carbono en los bosques: Papel del suelo.**

Los suelos son el principal sumidero de carbono terrestre. Conservando dicho carbono, se pueden reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y contribuir a la mitigación del cambio climático. Acorde con estudios realizados por The Royal Society en el 2001, el carbono edáfico es tres veces el carbono retenido en la biomasa, y representan 50,62% del carbono total retenido en los bosques tropicales (Bravo *et al*, 2008 a).

La cantidad de carbono retenida en el ecosistema forestal, incluyendo el suelo, es aproximadamente 1200 Gt de carbono equivalente a 4500 Gt de CO<sub>2</sub> (Rollinson, 2007).

Según Jandl (2003) los suelos forestales son los mayores depósitos de carbono de los ecosistemas terrestres. Contienen cuatro veces más carbono que la vegetación. Por eso merecen atención cuando se buscan mecanismos del secuestro de carbono. Aumentar el nivel de C del suelo podría ser un servicio ambiental precioso.

El carbono del suelo se encuentra en la hojarasca, en el sistema radicular vivo y muerto, y el carbono " negro". En promedio, las moléculas orgánicas son mineralizadas en cuatro años; una parte de ellas es extremadamente recalcitrante y su tasa de mineralización es baja, la edad de esta fracción de la materia orgánica, ligada a óxidos y arcillas, es de algunos cientos a miles de años. Es necesario entender los procesos claves en el suelo y su relación con otros factores como la temperatura, la humedad del suelo, y los nutrientes (particularmente el nitrógeno). Dado este entendimiento, es

posible manejar los bosques de manera que fijen y conserven sosteniblemente carbono en el suelo, el cual se puede manipular mediante la selección de especies de árboles, la ordenación de bosques, con medidas de mejora de los suelos y por la duración del turno de los bosques (Jandl, 2003).

Los suelos juegan un rol central en la dinámica del carbono en la biosfera porque un pequeño cambio en la tasa del flujo de carbono del suelo puede afectar profundamente el ciclo del carbono global y la cantidad de carbono almacenado en la atmósfera, con efectos importantes sobre el clima global y la biosfera (Moreno y Oberbauer, 2008).

Ball (2002) plantea que predecir el futuro significa tener en cuenta lo que podría ocurrir con el crecimiento de las plantas y la liberación de carbono desde el suelo. Por ejemplo, si el mundo se calienta, cabría esperar que algunos suelos se secan. En unas condiciones más cálidas y secas, algunos microbios se descomponen de forma más eficaz, con lo que aumentan las emisiones de carbono desde el suelo. Esto tendría un efecto positivo en el cambio climático. Walter Oechel, de la Universidad Estatal de San Diego, ha descubierto que esto es precisamente lo que ha estado ocurriendo en los fríos ecosistemas de la tundra de Alaska y Siberia.

El propio autor cita que la deforestación puede o no ser mala para el cambio climático, dependiendo al parecer de dónde esté, poniendo como ejemplo las regiones del norte de latitudes altas como Canadá y Siberia, donde la nieve cubre el suelo durante una parte importante del año, argumentando que en los suelos desbrozados para la agricultura, la nieve puede formar un manto blanco resplandeciente e intacto, que no se produce en las regiones boscosas: visto desde arriba, los bosques nevados son más oscuros que los campos cubiertos de nieve. El resplandor del suelo refleja la luz del sol hacia el espacio, mientras que un suelo más oscuro la absorbe y la calienta. La conclusión es que, en algunas lejanas regiones del norte los efectos del calentamiento global por la disminución del resplandor sobrepasarán el efecto del enfriamiento global de la absorción de carbono, si el suelo agrícola se sustituye por bosque.

### **Carbono y suelo.**

Según González (2003), los cambios en el uso de la tierra son tal vez el componente del cambio global más antiguo y más generalizado de todos los cambios inducidos por el hombre. Hoy en día, prácticamente ningún lugar del planeta se ha librado del impacto humano, bien sea directa o indirectamente. Según Vitousek *et al* citado por el autor, cerca del 40% de la productividad neta del planeta depende de los diferentes usos que se le han dado a la tierra. Por mencionar algunos ejemplos, desde 1950 se han construido casi 35 300 represas en el mundo, lo que ha originado procesos intensos de fragmentación en las cuencas de los principales ríos del mundo; de toda la cantidad de agua que se extrae en el mundo para la subsistencia humana, 70% se utiliza para irrigación de cultivos; los cambios en el uso de la tierra, especialmente la deforestación, son responsables del 33% del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico desde 1850. Todos estos cambios resultan necesariamente en la alteración de los servicios ambientales de los ecosistemas a escala local y global, y son responsables de gran parte de la actual extinción en masa de la biodiversidad.

Por otra parte, FAO (2000), reporta que los suelos forestales almacenan el 36% del carbono total retenido por el ecosistema. Llegando a mostrar 10 kg/m<sup>2</sup> a 10.4 kg/m<sup>2</sup> como densidad media, a una profundidad de un metro, en los suelos del trópico cálido y húmedo (FAO, 2000 a).

Según Cerri *et al* (2006) la biosfera terrestre contiene cerca de 1500 a 1600 Pg de carbono a un m de profundidad del suelo y 470 a 655 Pg de carbono adicional en la vegetación. Conjuntamente el carbono existente en el ecosistema terrestre es tres veces la cantidad de carbono atmosférico. El carbono almacenado en el suelo a una profundidad de 30 cm es aproximadamente 800 Pg, la cual es casi la misma cantidad almacenada en la atmósfera. Esto es importante para darse cuenta de que los suelos son ecosistemas frágiles. Con un inadecuado uso de la tierra, el carbono orgánico del suelo puede ser mineralizado y transferido a la atmósfera como CO<sub>2</sub>. Con un manejo óptimo, el sistema puede secuestrar carbono desde la atmósfera dentro del suelo a través de la descomposición y humificación de la hojarasca de la planta.

El proceso de secuestro de carbono en el suelo por medio de un óptimo uso del mismo y buenas prácticas de manejo es una importante estrategia regional y global para disminuir las emisiones y mitigar el CC.

Entre los cinco sumideros de carbono, se encuentra el carbono pedológico o carbono en el suelo: 1550 Pg de carbono orgánico del suelo (SOC) y 950 Pg de carbono inorgánico en el suelo (SIC). El SOC por sí mismo (2500 Pg) es 3,3 veces el atmosférico. La permanencia del carbono en la parte terrestre es mayor que en la atmósfera, siendo los dos componentes principales del secuestro de carbono en el suelo: C orgánico y C inorgánico, ocurriendo el primero a través de la formación de agregados estables, especialmente microagregados. La fuente de CO<sub>2</sub> en el suelo es por medio de la respiración de las raíces o la descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo. Los procesos biogénicos son importantes para la formación de carbonatos secundarios. El rango de secuestro del SIC a través de la formación de carbonatos secundarios es bajo y los rangos oscilan entre 5-15 kgC/ha/año. Más los suelos pierden el SOC bajo la conversión de un ecosistema natural a uno manejado. La magnitud de la disminución puede ser 25- 75% dependiendo del uso de la tierra, el manejo y el clima. La reducción del SOC ocurre debido a la reducción en la cantidad de biomasa que retorna al suelo, un incremento en el rango de mineralización porque ocasionado por los cambios en los regímenes de humedad y temperatura y una disminución en la cantidad de raíces o biomasa soterrada que retorna al suelo (Lal, 2006).

La capacidad de secuestrar carbono en el suelo depende de las diferencias entre SOC presente bajo un uso agrícola de la tierra comparado al SOC bajo un ecosistema natural; entre los factores interactuantes que lo determinan se encuentran la profundidad del suelo, contenido de arcilla y mineralogía, estructura y la habilidad para formar agregados, retención de la humedad, densidad de carga y superficie. El nivel de secuestro de SOC en suelos con una temperatura húmeda es 300- 1000 kgC/ha/año. En comparación, el nivel de secuestro en un clima tropical árido o semiárido puede ser 0-205 kgC/ha/año. En algunos casos excepcionales, se ha reportado un rango mayor a



1,0 MgC/ha/año. Del 2003 al 2012, el potencial de carbono secuestrado en la tierra se estima en 1,37 PgC. De estas el potencial de carbono secuestrado en el suelo es 93 TgC o 9,3 TgC/año. El secuestro de carbono en el suelo es esencial para mejorar la calidad del suelo para aumentar la productividad agrícola y lograr una seguridad alimentaria global (Lal, 2006).

Según Bernoux y Volkoff (2006), los minerales edáficos del mundo representan un extenso reservorio de carbono, con estimaciones de 1115 a 2200 PgC en el primer metro del suelo. En total, a los 100 m de profundidad, los suelos en América latina contienen aproximadamente 185 PgC. El carbono almacenado a una profundidad de 0-30 cm, 0-50 cm y 0-200 cm son respectivamente, 100 Pg, 132 Pg y 277 Pg. El carbono secuestrado globalmente en el suelo, es respectivamente 803 Pg, 1101Pg, 1589 Pg y 2521 Pg en una profundidad de 0-30 cm, 0-50 cm, 0-100 cm, 0-200 cm. Siendo el potencial de SOC secuestrado para América latina es 0,1 a 0,2 PgC/año.

Los autores anteriormente mencionados refieren que, el carbono en el suelo y contenido medio de carbono para las ecoregiones definidas es el siguiente:

Ecoregiones	Área (1000km <sup>2</sup> )	Carbono almacenado 0-30 cm (Tg)	Contenido medio de carbono. 030 cm (kg/m <sup>2</sup> )
Caribe	655,6	3370	5,1
América central	1137,0	7140	6,3
México	1367,6	5793	4,2
Amazonía	6734,4	33711	5,0
Total de América Latina	20256,1	100503	5,0

A su vez, el inventario del carbono en el suelo bajo una vegetación natural en las ecoregiones de América Latina y que han sido impactadas por actividades del cambio de uso de la tierra, según los autores, es:

Ecoregiones	Área natural que fue impactada por usos agrícolas			Mosaico de área natural e impactada por uso agrícola.		
	1000 km <sup>2</sup>	%	C 0-30cm de profundidad (TgC)	1000 km <sup>2</sup>	%	C 0-30cm (TgC)
Amazonía	196,3	2,9	881	277,4	4,1	1367
Caribe	141,9	21,6	759	129,6	19,8	658
América Central	415,5	36,5	2378	4,2	0,4	32
México	55,8	4,1	316	0	0,0	0
Total	2542,8	12,5	12963	2124,1	10,5	10727

Estimándose un carbono perdido por actividades agrícolas en:

Ecoregiones	Total de C secuestrado bajo condiciones naturales (TgC)	Áreas agrícolas impactadas (TgC)	Mosaico de área natural y agrícola (TgC)
Amazonía	33711	264	137
Caribe	3370	228	66
América Central	7140	713	3
México	5793	95	0
Total	100503	3889	1073

### El CO<sub>2</sub> y los árboles forestales.

En los bosques, el carbono es retenido por medio del incremento de la biomasa y/o incremento de la materia orgánica y el carbono en el suelo, pero es emitido a la atmósfera por medio de la respiración, descomposición y quema de la misma (Le May y Kurz, 2008).

El carbono almacenado en el ecosistema terrestre es distribuido entre tres componentes: la biomasa de las plantas (fuste, ramas, follaje y raíces), detritus de las plantas (ramas caídas, hojarasca, tocones y troncos) y el suelo (humus mineral orgánico, la superficie y profundidad mineral del suelos. Los árboles adquieren energía por sus estructuras vivientes a través de la fotosíntesis la cual requiere del CO<sub>2</sub> capturado por los estomas en las hojas. Parte del CO<sub>2</sub> es usado para crear biomasa, mientras otra porción es emitida a la atmósfera por medio de la respiración autótrofa. Cuando mueren hojas y ramas y estas se descomponen, resulta un aumento de carbono en el suelo, aunque una pequeña cantidad es manejada dentro de la atmósfera por medio de la respiración heterótrofa (Bravo *et al*, 2008 a).

Algunos trabajos revitalizan la influencia de la absorción del dióxido de carbono por las plantas. En los últimos años, la liberación de carbono resultante de la descomposición ha sobrepasado la absorción atribuible a la fotosíntesis, y la tundra se ha convertido en una fuente neta de carbono para la atmósfera (Ball, 2002).

Según Azcón-Bieto y col (2003) la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire que se encuentra alrededor de las hojas influye marcadamente en el crecimiento de las plantas, ya que el mismo es el substrato principal de la fotosíntesis y los vegetales tienen que incorporar dióxido de carbono en cantidades suficientes. Las plantas C<sub>3</sub>, que fijan el carbono mediante la enzima dependen de la difusión del CO<sub>2</sub> para absorber este gas y por tanto, de no presentarse limitaciones por otros factores, las plantas responden incrementando la tasa de fotosíntesis neta o asimilación neta de CO<sub>2</sub> a medida que aumenta la concentración de éste en los espacios intercelulares, siguiendo una curva de saturación.

Oechel y sus colaboradores, citados por Ball (2002) informaron que en sólo unas décadas estos ecosistemas ya se han adaptado parcialmente a unas condiciones más cálidas, con lo que los incrementos en el crecimiento de las plantas, al parecer, los han vuelto a convertir en sumideros de carbono durante el verano. Estos descubrimientos demuestran lo difícil que es predecir la forma en que el ciclo del carbono de un ecosistema responderá ante el cambio climático. Algunos investigadores han reunido

pruebas que demuestran que el crecimiento de las plantas se puede ver fertilizado por altas concentraciones de dióxido de carbono en el aire: la mayor disponibilidad de carbono las ayuda a crecer más rápido. Esta fertilización por dióxido de carbono proporcionaría una reacción negativa para el cambio climático, aumentando la fuerza de los sumideros de carbono en la biosfera terrestre.

Las partes que integran la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) reconocieron, según FAO (2003), las cuatro funciones principales de los bosques en el CC: como fuente de dióxido de carbono cuando se destruyen o degradan, como indicador de un CC, como fuente de biocombustibles para sustituir combustibles fósiles y como sumideros de carbono cuando se explotan de forma sostenible. Los bosques proporcionan un servicio ambiental único en su género al eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera, almacenarlo en la biomasa, el suelo y los productos y ofrecer una alternativa sostenible a los combustibles fósiles.

Según GIECC (2005), los bosques mundiales almacenan grandes cantidades de carbono, con una estimación de 330 Gt C en vegetación viva y muerta sobre tierra y bajo tierra, y 660 Gt C en el suelo (suelo mineral más horizonte orgánico). También se almacena una cantidad desconocida de carbono en productos de madera. Actualmente, continúan citando los autores, se estima que los bosques de latitudes altas y medias constituyen un sumidero neto de carbono del orden de  $0.7 \pm 0.2$  Gt C/año, y que los bosques de latitudes bajas constituyen una fuente neta de carbono de  $1.6 \pm 0.4$  Gt C/año, debido sobre todo a la tala y degradación de los bosques.

Un análisis del carbono retenido en la biomasa de los bosques en seis ecoregiones durante 1990, 2000 y 2005, estimó que la tasa fue casi constante en Europa, América del Norte - América Central y Oceanía. Sin embargo fue declinando en África (aproximadamente 70Gt carbono retenido en 1990 a 60 Gt carbono retenido en 2005), Asia (45 Gt carbono retenido en 1990 a 30 Gt C en 2005) y América del Sur (95 Gt C en 1990 a 80 GtC en 2005) (Karnosky *et al*, 2007).

Según Sarre (1994a), los bosques del mundo contienen alrededor del 75 % del carbono natural contenido en los ecosistemas terrestres y su destrucción representa aproximadamente el 25 % de las emisiones actuales de CO<sub>2</sub> atmosférico provocadas por el hombre; estos, si no fuesen intervenidos, mantendrían su función de reservorio durante siglos.

Según científicos británicos, citados por Ball (2002), la creación de bosques en latitudes altas podría contribuir al calentamiento global en vez de reducirlo. Los sumideros de la biosfera que actualmente absorben la mitad del dióxido de carbono de origen humano podrían, bajo la influencia del calentamiento global, transformarse en generadores de anhídrido carbónico a partir del 2050. Esto produciría un agravamiento del efecto invernadero.

Según Opuni-Frimpong (2002) cada vez más se observan concentraciones mayores de dióxido de carbono en la atmósfera, previéndose un impacto significativo en el medio ambiente mundial, como es el caso de la especie arbórea álamo, donde las concentraciones elevadas de estos gases provocaron impactos en el crecimiento, la morfología y fenología de las plántulas.

Una de las cuestiones más acuciantes para los científicos, según Ball (2002), es la forma en que está cambiando el contenido de carbono de la atmósfera en la actualidad y lo que podría ocurrirle en el futuro. Mientras que la primera de estas cuestiones se puede responder sencillamente a través de mediciones, la segunda es mucho más complicada, porque el carbono atmosférico es causante del cambio climático, pero también se ve afectado por él de diversas maneras. Mientras no se entienda mejor la información sobre estas sutiles reacciones entre el carbono y el cambio climático, los modelos que predicen lo que el futuro esconde siempre se verán obstaculizados por la incertidumbre. Es el ciclo del carbono terrestre el que presenta algunas de las mayores dudas sobre el futuro del cambio climático. Uno de los motivos es la deforestación. En el pasado, los bosques tropicales y del norte proporcionaban un inmenso sumidero de carbono, absorbiendo el dióxido de carbono para la fotosíntesis.

Si los bosques se talan, estos sumideros se eliminan y se puede acumular más dióxido de carbono en la atmósfera.

De acuerdo con algunos científicos, reduciendo el índice de deforestación es posible conservar 1.5 Gt de carbono por año. Asimismo, se preservarían las especies que podríamos necesitar bajo regímenes de concentraciones elevadas de CO<sub>2</sub>. El manejo adecuado, tanto forestal como agrícola, es una condición necesaria para un clima mundial estable (Sorensen, 1994). Ejemplo de ello queda registrado en la cita dada por IPCC (1996) donde se señala el carbono global que puede secuestrarse y conservarse desde 1995 al 2050.

<b>Zona latitudinal</b>	<b>Medida</b>	<b>C Secuestrado o conservado (Gt C)*</b>
Alta	- Forestación	2.4
Media	- Forestación	11.8
	- Agrosilvicultura	0.7
Baja	- Forestación	16.4
	- Agrosilvicultura	6.3
	- Regeneración	11.5-28.7
	-Reducción de la forestación	10.8-20.8
<b>TOTAL</b>		<b>60-87</b>

\* comprende el C de la vegetación sobre y bajo tierra, el suelo y la hojarasca.

Un estudio reveló que Estados Unidos podría producir suficiente biomasa leñosa de corta rotación para reducir sus emisiones de CO<sub>2</sub> hasta en un 20%, lo cual constituiría el 4.4% de las emisiones de carbono por combustibles fósiles en el mundo (Sarre, 1994a).

Según Simula y Burger (2003), los bosques amazónicos contienen uno de los sumideros de carbono más extensos del planeta. Con la deforestación se libera este carbono y se producen casi la mitad de las emisiones totales de carbono en Brasil. La función que cumplen los bosques en esta área, en el ciclo mundial del carbono es una razón imperiosa, comentan los autores, para su conservación y su uso sostenible, poniéndose de manifiesto su importancia mundial.

### **La función de los bosques.**

#### **El bosque.**

Lo que caracteriza a un bosque no es sólo la presencia de árboles más o menos altos, sino también su densidad, o sea, el grado de cobertura de las especies arbóreas en relación a la superficie cubierta. Dependiendo de ello, una formación vegetal podrá tener una fisonomía más abierta (**tipo sabana**) o más cerrada (**tipo bosque**). Existen formaciones vegetales complejas, con estratos arbóreos bien definidos que, sin embargo, son difíciles de clasificar. Así, por ejemplo, lo que para unos es un "*bosque medio abierto*", puede ser una "*sabana medio cerrada*" para otros. La existencia de un suelo predominantemente cubierto por gramíneas (*Poaceae*) es un buen indicador de que la cantidad de luz que alcanza el suelo es elevada y, por lo tanto, que la densidad de especies arbóreas es demasiado baja para considerar una formación vegetal como bosque (Guix, 2004).

Dado que las especies forestales tienen un rango óptimo de temperatura para desarrollarse, una elevación de esta variable climática, cambiará el balance competitivo entre las especies y puede alterar su patrón de distribución (Bravo *et al*, 2008 a).

Los bosques tropicales pueden jugar un rol importante en la absorción del exceso de CO<sub>2</sub> porque ellos son el mayor pool de carbono orgánico en el ecosistema terrestre, ellos cubren solamente 17% de la superficie terrestre del planeta y almacenan cerca del 42% de carbono contenido en la biomasa, 59% del carbono en los bosques y 27% de carbono en los suelos; cuentan además con 36% de toda la productividad primaria neta (Moreno y Oberbauer, 2008).

Se ha estimado que si se utilizara una superficie equivalente al 10% del área cubierta actualmente de bosques, zonas arboladas, tierras agrícolas y pastizales permanentes en el mundo para establecer plantaciones modernas de biocombustibles, la producción energética anual sería mucho mayor que el consumo mundial actual de todos los combustibles comerciales combinados (Hosier citado por Sarre, 1994a).

Los bosques, además de recibir un impacto importante por el cambio climático, también lo influyen. Al ser destruidos, estos pueden ser importantes fuentes de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo, a través de su gestión sostenible pueden ser importantes sumideros (procesos, actividad o mecanismos que remueven los GEI) de estos mismos gases. Los bosques funcionan como amortiguadores del impacto que ocasiona el cambio climático (Anónimo, 2000).

### **El almacenamiento o secuestro de carbono como objetivo para los bienes y servicios del bosque.**

El carbono de los bosques pasaría a ser un producto básico producido a nivel local y vendido a nivel mundial, con un precio que variaría según el precio de los productos alternativos del sector energético. El carbono secuestrado a través de las actividades forestales es mucho menos costoso que el carbono secuestrado mediante el control de emisiones energéticas. En general se estima que el carbono tendrá un precio de mercado entre US\$ 10 y US\$ 30 por tonelada. El costo de producir carbono en los bosques puede ser mucho menor. Un informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el CC cita costos de entre US\$ 0.1 y US\$ 28.0 por tonelada en proyectos piloto de carbono. Las primas que se cobren por el potencial de los bosques para almacenar carbono podrán ayudar a pagar otros servicios y productos forestales (Asquith, 2000).

Según el propio autor anteriormente citado, el principal proyecto de carbono forestal en el mundo está situado en Bolivia. La extensión del Parque nacional Noel Kempff Mercado permitió la conservación de 7-14 millones de toneladas de carbono a un costo de US\$1 por tonelada.



## Avances del sector agrario (subsector forestal) posteriores a la Primera Comunicación Nacional.

Según Álvarez (2006) hasta la fecha se cuenta con lo mostrado en la siguiente tabla:

<b>Balance de Emisiones</b>	<b>Mitigación</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación y explotación anual del sistema para la Dinámica Forestal.</li> <li>• Evaluación de la retención de carbono por los bosques en los años 1998, 2000, 2002 y 2004.</li> <li>• Determinación del contenido de carbono y de nitrógeno en la madera de especies arbóreas cubanas.</li> <li>• Determinación del uso de los coeficientes nacionales de carbono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa nacional para la prevención y control de los fuegos forestales.</li> <li>• Elaboración de la metodología para la determinación de la línea base de carbono en las empresas forestales.</li> <li>• Elaboración del sistema SUMFOR.</li> <li>• Formulación de la estrategia de mitigación para siete empresas forestales.</li> <li>• Elaboración del indicador de manejo sostenible de los bosques relacionado con el cambio climático.</li> <li>• Evaluación del ciclo de carbono en plantaciones de Pino macho con el sistema CO<sub>2</sub>-FIX.</li> <li>• Desarrollo del proyecto energético de la Isla de la Juventud.</li> <li>• Preparación del sistema nacional de evaluación de la retención de carbono por las empresas forestales.</li> <li>• Creación de bosques con fines energéticos.</li> <li>• Programa para el cambio de la iluminación en las empresas vinculadas a las actividades forestales.</li> </ul>

## **Situación de los bosques.**

### **Situación mundial de los bosques.**

El IPCC (Panel Intergubernamental sobre el CC), comunicó en 1996, que la cubierta de bosques en el mundo hasta esa fecha se estimaba en unas 3.4 Gha, con 52 % ubicado en las bajas latitudes, 30 % en las altas y 18 % en las medias.

Otros autores, como Blaser y Douglas (2000), reportaron una cubierta boscosa de 33 millones de kilómetros cuadrados (3.3 Gha), lo cual constituía 26 % de la superficie terrestre del planeta.

Por otra parte, según OIMT (2001) citando a la FAO, unas 4.5 millones de hectáreas de plantaciones se establecían cada año, alcanzando la propiedad forestal en el 2001 más de 180 millones de hectáreas.

En todo el mundo se estaban degradando y perdiendo los bosques a un ritmo sin precedentes en la historia del hombre. Las selvas tropicales disminuían a una tasa de alrededor de 15 millones de hectáreas por año. En los años 90, se perdieron bosques a un ritmo de 15 a 17 millones de hectáreas anuales, de los cuales un índice de hasta 2-3 % anual correspondía a algunos países de la región de Asia y el Pacífico.

La pérdida de los bosques es responsable del 2-5 % de pérdida de la biodiversidad mundial por década, con pérdidas inestimables en la estabilidad de los ecosistemas y el bienestar humano, y de la emisión de hasta el 20 % de los gases efecto invernadero que contribuyen al calentamiento del planeta. (Blaser y Douglas, 2000).

Por otra parte, según OIMT (2002 a) unas 350 millones de hectáreas de tierras forestales tropicales sufrieron serios daños debido a los incendios, al desmonte y a las prácticas destructivas de aprovechamiento que hacen difícil el rebrote espontáneo de estos bosques, mientras que unos 500 millones de hectáreas presentaban una cubierta forestal degradada o que ha vuelto a crecer después de la deforestación inicial.

Maginnis y Jackson (2002), plantean que una gran parte del paisaje de los bosques tropicales del mundo había sido alterado por la deforestación y la degradación forestal, a tal punto que solo 42 % de la cubierta forestal restante o 18 % de la cubierta forestal original de los trópicos aun se encontraba en amplias extensiones de terreno contiguas. Unas 380 millones de hectáreas de bosques tropicales se clasificaban como fragmentadas. Se supone que la mayoría de los 500 millones de hectáreas estimadas de bosques tropicales primarios y secundarios degradados era parte de estos mismos bloques fragmentados, sólo 400 millones de hectáreas adicionales de tierras agrícolas productivas conservaban un componente arbóreo significativo.

Según los propios autores, el paisaje del bosque tropical " típico " con frecuencia se presenta como una mezcla de bosque primario, plantaciones forestales, bosque secundario y tierras forestales degradadas intercaladas con áreas extensas de tierra cuyo uso es diferente al forestal. Es un hecho, argumentan, que la cubierta arbórea ya no predomina en muchos paisajes de los bosques tropicales.

Según estimaciones de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), citado por Guix (2004), la superficie de los bosques representaba 25 % de la superficie total de las tierras emergidas del planeta (aproximadamente unos 3,400 millones de hectáreas de bosque). Más de la mitad de la cubierta arbórea del mundo se encuentra en países en desarrollo, que tenían una tasa anual de pérdida forestal de 0,65 %. Por otra parte, los bosques están en plena expansión en los países más ricos, sea como consecuencia de las repoblaciones comerciales, sea por el abandono y reforestación natural de antiguas superficies agrícolas. Un análisis superficial de estos datos parecería indicar que, de forma general, los países más ricos conservan mejor los bosques que los países pobres. Sin embargo, un análisis más detallado indica que esto no es exactamente así, aunque es cierto que los países ricos conservan mejor sus bosques, por razones estratégicas o de mercado, algunos prefieren consumir madera y pasta de celulosa procedente de otros países, antes que agotar sus propios recursos forestales. De este modo, los países ricos son los principales importadores de madera de los países tropicales. Además, son los principales impulsores de proyectos agropecuarios (ganadería extensiva) y de

infraestructuras (por ejemplo: grandes centrales hidroeléctricas y carreteras) en los países pobres, que muchas veces provocan la destrucción de grandes superficies forestales. Así pues, se podría decir que las economías de los países desarrollados son las que más bosques consumen en el mundo. No obstante, continua el autor, la pobreza también es una gran consumidora de árboles. En gran parte de las zonas rurales de los países tropicales, la leña es aún la principal fuente de combustible. Además, la ancestral estrategia de agricultura de subsistencia denominada "*roza, tumba y quema*" todavía persiste, a pesar que ya existen conocimiento y tecnología suficientes para el desarrollo de una agricultura más rentable en suelos tropicales, que no precisa de una búsqueda casi permanente de nuevas tierras fértiles.

Aunque no se dispone de cifras confiables, cada vez se cuenta con mayor número de bosques secundarios tropicales; las estimaciones varían entre 340 millones hasta 530 millones de hectáreas (Muller, 2002). Estos tipos de bosques se caracterizan por presentar en sus primeros 15 años de sucesión una rápida acumulación de biomasa, de hasta 100 toneladas por hectárea al año; siendo una de las características más típicas la alta heterogeneidad florística entre los rodales que se encuentran separados a una corta distancia, a escala tanto del dosel como del sotobosque, además de almacenar cantidades significativas de carbono y por tanto contribuyen de esta manera a mitigar el calentamiento global. Los efectos abióticos, tales como las diferencias en la precipitación y elevación, son factores que determinan especialmente la tasa de sucesión.

Lara (2003) advirtió que cada año en Nicaragua se pierden 150 mil ha de bosques y a ese ritmo, en el 2020, podría ser uno de los primeros países de la región que presente áreas totalmente desérticas. Precisó que los principales factores que afectan a la Tierra son los cambios climáticos, el incremento de CO<sub>2</sub>, la destrucción de la capa de ozono, el abuso de pesticidas y sustancias tóxicas, la erosión de los suelos y la escasez de agua potable; así como el saqueo de los recursos forestales y ejemplo de ello es que en América Latina el 74 % de las tierras áridas se consideraba grave o moderadamente desérticas.

De acuerdo con expertos, cada año desaparecen en el mundo 170 mil km<sup>2</sup> de bosques, mientras nacen 80 millones de habitantes.

Según comenta Simula y Burger (2003), la tasa de deforestación en la Amazonia promediaba durante ese año unas 2 millones de hectáreas anuales, habiendo oscilado entre 1.1 y 3 millones en los últimos 20 años.

Por otra parte, Peláez (2003), cita que cifras preliminares divulgadas por las autoridades ambientalistas cariocas, indican que el índice de deforestación en el Amazonas brasileño aumentó en 40 % en el 2002. De acuerdo con esos informes, la superficie perjudicada por la deforestación alcanzó los 25 476 km<sup>2</sup> y entre las causas más influyentes en esa situación aparecen la tala indiscriminada dirigida a obtener madera y crear granjas, y la quema de bosques (el Amazonas atesora 30 % de las especies de la vida animal y vegetal del planeta y es una importante fuente de plantas medicinales).

En Indonesia se calcula que 38 % de los parques nacionales y áreas de conservación, 46 % de los bosques de protección y 30 % de los bosques de producción sufrieron alguna degradación durante los finales de la década del noventa y primeros dos años del siglo vigente (Che-Yeom y Chandrasekharan, 2002).

En Tailandia la deforestación mostraba una tasa anual de 329 000 hectáreas hasta finales de los años noventa (Sarre, 2000).

Actualmente el mundo posee, según FAO (2007), poco menos de 4000 millones de hectáreas de bosques, que cubre aproximadamente 30% de la superficie terrestre mundial, distribuyéndose los mismos de forma desigual, pues de 229 países, 48 poseen superficies forestales que superan el 50% de su superficie terrestre total, mientras que 64 disponen de superficies inferiores al 10%. La deforestación sigue aumentando a una tasa de 13 millones de ha/año; entre 1990 y 2005 el mundo perdió el 3% de su superficie forestal total, lo que representa una disminución media de 0.2% al año. La pérdida forestal neta se iguala 7,3 millones ha/año, es decir, 20 mil ha/día. Las reservas

de carbono en la biomasa forestal disminuyeron aproximadamente 5.5% a nivel mundial entre 1990-2005. Cada año se pierden o modifican, en el mundo, una superficie estimada en 6 millones hectáreas de bosque primario; 1,4% promedio de su superficie forestal sufrió daños por enfermedades, 0,9% por incendios forestales, de los cuales cada año una superficie estimada en 350 millones de hectáreas sufre daños, lo que equivale 9% de la superficie forestal total. El 80% de los incendios es provocado por el hombre y en algunas regiones representa hasta 99%.

A escala mundial, el aumento del 11% de la superficie forestal total, está destinado para la conservación. El 36% está clasificado como bosque primario, siendo líder América Latina y El Caribe (75%), seguida de América del Norte (45%). Aproximadamente 9% de los bosques en el mundo se utilizan para la protección; la superficie de plantaciones productoras aumentó 2,5 millones de hectáreas entre 2000 al 2005 (FAO, 2007).

### **Situación de los bosques en Cuba.**

Cuba es el principal centro de especiación de las Antillas debido a su mayor tamaño y el aislamiento geológico desde principios del Terciario. Más de tres mil especies son endémicas. A este endemismo contribuyen además, las diferencias altitudinales y las peculiaridades litologeodáficas (Álvarez *et al*, 1999).

La flora cubana tiene una gran diversidad provocada por la complejidad de las condiciones físico-geográficas y su diferenciación espacial, que conforman un mosaico ecológico con gran riqueza de especies (cerca de 8 000), de ellas 6 300 fanerógamas, principalmente en regiones secas o semisecas y montañosas.

Los propios autores comentan que la flora cubana comprende alrededor de 600 especies arbóreas, introduciéndose más de 200 para diferentes fines que junto a las tradicionales, forman parte integral de los planes corrientes de reforestación, sumándosele el rescate de especies raras y en peligro de extinción (suman 994 de las cuales 832 son endémicas que constituyen el 86,7 % de las catalogadas; se registran en extinción 13 endémicas).

Según González, citado por González (2002), el patrimonio forestal de Cuba oscila alrededor de 2.4 millones de hectáreas, cubierta por especies de uso múltiple, que van desde maderas preciosas hasta leñosas; coincidiendo en este punto con lo planteado por Álvarez *et al* (1999), los cuales argumentan que esta superficie representaba en ese año el 21.7 % del territorio nacional. De esta superficie correspondían 1954,4 miles de hectáreas a bosques naturales, distribuidos en 16 tipos de formaciones y 454,6 miles de hectáreas de plantaciones. Existen 7 zonas especiales de desarrollo sostenible, 4 macizos montañosos y 2 sistemas de cayerías, Los Canarreos y Sabana Camagüey. Según la información ofrecida por la Dirección Forestal del MINAG, y reflejada por Álvarez *et al* (2007), al término del año 2006 el patrimonio forestal nacional ascendía a 3.635.050,15 ha (33,1 % de la superficie del país), con 25% del área cubierta, 3.6% catalogada como superficie inforestal, 2.8% área por reforestar, 1.7% cubierta por bosques en desarrollo, 21.3% de bosques naturales, 3.7% plantaciones; los bosques productores representan 7.5%, 11.7% son protectores y 5.8% para la conservación. Dentro del 25% del área cubierta, los bosques naturales comprenden el 85.2% de esa superficie, distribuyéndose principalmente en Pinar del Río, Ciénaga de Zapata, Isla de la Juventud (zona occidental); Escambray (zona central), cayerías norte y sur de Cuba central; Sierra Maestra y Sagua-Nipe-Baracoa (zona oriental).

Las existencias totales de madera en pie ascienden a 115.6 millones de metros cúbicos y el incremento medio anual oscila en 7.5 millones de metros cúbicos sólidos, destinándose a la producción de leña y carbón vegetal el 65.0 % aproximadamente.

La baja tasa de reforestación anual, los bajos índices de supervivencia y del logro de las plantaciones (62 %), la incidencia de incendios forestales y la agricultura migratoria continúan incidiendo negativamente sobre el crecimiento de la cubierta forestal. La tasa de reforestación de las plantaciones taladas a nivel nacional en el último lustro fue del 76 %, mientras que por concepto de incendios forestales, en los últimos 10 años se han perdido 55 410 ha de bosques, con una afectación media anual del 0.2% de la superficie cubierta. (Tomado de Circunstancias Nacionales Versión 4, versión electrónica).

#### **PARTE IV. Breve reseña sobre la relación carbono/ nitrógeno**

El nitrógeno es el nutriente que limita frecuentemente el crecimiento de las plantas en ecosistemas terrestres. Experimentos en bosques boreales demuestran que el crecimiento de árboles responde bastante bien a la disponibilidad de CO<sub>2</sub>, si hay disponible suficiente nitrógeno (Hättenschwiler & Körner, citados por Jandl, 2003)

A pesar de constituir 78% de la atmósfera, el nitrógeno es un factor limitante para el crecimiento en la mayoría de los ecosistemas naturales. Este elemento es necesario para la vida, pues es un componente esencial de las bases que constituyen el ADN y el ARN, las moléculas que almacenan y transfieren la información genética. Además, se requiere para construir las proteínas, las cuales son mensajeros, receptores, catalizadores y componentes estructurales de todas las células de plantas y animales. (Gutiérrez, 2003).

El nitrógeno constituye del 1% al 5% del peso anhidro de las hojas, y una parte menor del peso anhidro de los demás tejidos vegetales. Este elemento se combina en las plantas con las sustancias carbonadas para dar lugar a una gran cantidad de compuestos orgánicos diferentes, que contienen un promedio del 16% del mismo, por lo que se puede deducir que las sustancias nitrogenadas forman del 5% al 30% del peso total de los tejidos vegetales (**Villalba, 1992**).

Sólo una pequeña parte del nitrógeno terrestre se encuentra en el suelo; la mayor parte se halla en la atmósfera en estado molecular N<sub>2</sub>, y este nitrógeno, si bien no puede ser utilizado por la inmensa mayoría de las plantas superiores, sí puede ser asimilado y aprovechado por un número de microorganismos que habitan en el suelo o en algunos tejidos especiales, como son las nudosidades en la raíz de ciertas plantas como las Leguminosas que tienen la propiedad de fijarlo (**Villalba, 1992**).



Gray y Schlesinger (1983) han sugerido, respecto a la cuestión de si existe alguna relación entre la eficiencia en el uso del nitrógeno y la disponibilidad de nutrientes en el suelo, que a medida que los suelos son más ricos en N la cantidad de biomasa producida por unidad de N se hace menor, o sea, a mayor disponibilidad de N, menor eficiencia en su uso.

Shaver y Melillo (1984) definen tres tipos de eficiencia: 1) *efficiency of uptake* que sería la NUEp de Larcher reportada en 1993, 2) *efficiency of recovery* que sería la proporción de nutrientes reabsorbidos de las hojas o flores antes de su caída, y 3) *efficiency of use* el cociente entre la masa total seca y la cantidad de nutriente, ya definida así por Chapin (1980), lo cual se traduce en el inverso de la concentración de nitrógeno.

Se deduce que la forma más importante del nitrógeno que las plantas absorben del suelo son los nitratos pues los iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  que se encuentran en el terreno, al formar las sales se convierten en nitratos mediante la nitrificación bacteriana (**Villalba, 1992**).

Si en un momento dado se le suministran nitratos a las plantas que hayan estado privadas de él, se observará un incremento en la producción de  $\text{CO}_2$  respiratorio (**Villalba, 1992**).

Según Sánchez *et al* (2003) la fijación del  $\text{N}_2$  es un proceso muy dependiente del suministro de fotosintetizados, y el aumento de  $\text{CO}_2$  suele ir asociado frecuentemente con una estimulación de la fotosíntesis, por lo que se podría pensar en una mejora de la fijación de nitrógeno, siendo la disponibilidad de nitrógeno un factor decisivo que puede condicionar la respuesta de la planta al aumento del dióxido de carbono.

Para que el nitrógeno sea asimilable por las plantas debe transformarse a formas reactivas mediante la combinación de N con el carbono (C), hidrógeno (H) y/u oxígeno (O). Así, este puede usarse por la biosfera terrestre hasta que se convierte de nuevo en N por desnitrificación. Aunque el ciclo del nitrógeno involucra algunos procesos abióticos, como deposición de los compuestos de N, volatilización del amonio y

lixiviación de nitratos, muchos de los procesos como la fijación, asimilación del amonio, nitrificación, reducción del nitrato, amonificación y desnitrificación son biológicos y juegan un papel clave en el ciclo (Schlesinger, 2000).

En ausencia de disturbios antrópicos, la interacción de procesos abióticos y biológicos resulta en un ecosistema natural eficiente y saludable. La fijación de nitrógeno ocurre espacial y temporalmente según la demanda natural del ecosistema; sin embargo, las actividades humanas han más que duplicado los ingresos de N a los ecosistemas terrestres en todo el mundo, debido principalmente a actividades como el consumo de fertilizantes, los cultivos de plantas fijadoras de nitrógeno, las emisiones de combustibles fósiles y la quema de biomasa (Gutiérrez, 2003).

Las adiciones antrópicas de N afectan un amplio rango de propiedades y procesos de los ecosistemas. Estas por ejemplo, pueden alterar la productividad, el ciclo de nutrientes y al interactuar con CO<sub>2</sub>, pueden causar reducciones significativas en la diversidad biológica. Además, al aumentar la lixiviación de nitratos de ecosistemas saturados de N, se conduce a la acidificación y eutroficación y altera la biodiversidad en cauces de agua y ecosistemas marinos (Gutiérrez, 2003).

El óxido nítrico (NO) contribuye a la formación fotoquímica del ozono troposférico (O<sub>3</sub>) el más importante contaminador atmosférico en términos de sus efectos en la salud humana y en la productividad de las plantas; además, el producto final de la oxidación del NO, el ácido nítrico es el principal componente de la lluvia ácida (Gutiérrez, 2003).

### **Relación entre la concentración de carbono y la eficiencia fotosintética.**

La fotosíntesis conjuntamente con la respiración son procesos fisiológicos fundamentales en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Sobre este proceso fisiológico, mediante el cual la planta transforma el carbono absorbido o tomado del aire en azúcares mediante la energía luminosa, está influenciado por una serie de factores limitantes tales como:

- Ø la intensidad luminosa,
- Ø la concentración de carbono en el aire y
- Ø la temperatura del aire.

Los dos primeros pueden limitar la fotosíntesis y el efecto que sobre ésta ejerza el tercer factor, depende de aquel que sea limitante (Bonner y Galston, 1965); es decir la respuesta dada por la fotosíntesis frente a la temperatura del aire, depende del comportamiento o estado en que se encuentren los dos restantes (intensidad luminosa y concentración de carbono en el aire).

En cuanto al segundo, se plantea que la respuesta de las plantas al aumento del CO<sub>2</sub> depende de muchos factores, tantos internos (especie, ecotipo, desarrollo) como externos (factores bióticos y abióticos).

La tasa de asimilación depende sobre la radiación directa y difusa interceptada, la capacidad fotosintética específica de cada especie, la temperatura foliar, el carbono aprovechable, la extensión de la abertura estomática y la viabilidad de agua en el suelo (Keeman *et al*, 2008).

El carbono absorbido por fotosíntesis es balanceado por las emisiones de carbono durante la respiración (Nazip, 2008).

Según Sierra (2003), las plantas absorben una porción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA, porción entre 400 y 700 nm del espectro lumínico). De la radiación recibida una porción se reirradia, otra se pierde como calor latente y otra se acumula en forma de sustancias orgánicas por medio del proceso de fotosíntesis.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS.

#### **Caracterización del área de estudio.**

La provincia Matanzas con un área de 11 787,7 km<sup>2</sup>, constituye la segunda en mayor extensión territorial de la Isla. Se encuentra ubicada en la parte más oriental de la zona occidental del país, entre las provincias C. Habana y La Habana, así como Villa Clara-Cienfuegos. Ubicado al sur de dicha provincia se localiza el municipio Ciénaga de Zapata, que constituye el mayor humedal de Cuba y del Caribe Insular. Dicha municipalidad colinda al Norte con el municipio de Jagüey Grande, al este con la provincia Cienfuegos y al Noroeste con provincia La Habana.



Entre sus principales características socio-económicas se destacan su poca densidad de población, alrededor de 2 habitantes por km<sup>2</sup>, la más baja del país y una economía local con muy poco desarrollo. La población total del municipio es de 8611 habitantes, de ellos 51,3% son hombres. La población en edad laboral es de 5273 habitantes, aproximadamente 60% de la población. La proporción por sexo alcanza un índice de masculinidad 106 hombres por cada 100 mujeres. El crecimiento de la población es también muy lento y se caracteriza por un equilibrio entre la emigración e inmigración en el territorio así como entre la natalidad y la mortalidad. Otro aspecto que llama la atención es que 34 % de la población se concentra en dos asentamientos poblacionales: Gironcito y Cayo Ramona. La tendencia a la dispersión de la población en el territorio, que se manifestó en los años 90, fue abruptamente interrumpida y sustituida por una mayor concentración, con la reconstrucción de los asentamientos

urbanos tras las afectaciones del huracán *Michelle* (categoría 4) en el año 2001. Este huracán afectó la zona con vientos superiores a los 200 km/h y produjo importantes impactos negativos sobre el medioambiente y la esfera socioeconómica. Las principales ramas económicas son la silvicultura, apicultura, pesca, industria local y turismo. El humedal tiene importantes recursos forestales, que incluyen maderas preciosas. La explotación de estos recursos tiene muy poco valor agregado y la tecnología de corte y extracción son muy atrasadas. Los recursos energéticos, principalmente turba y los energéticos forestales (leña/carbón) presentes en el ecosistema, no pueden explotarse por la función protectora y/o reguladora que realizan. La abundancia de recursos de la pesca (cocodrilos, tortugas, crustáceos, mariscos) es otra de las características de la Ciénaga de Zapata; sin embargo, estos no se explotan adecuadamente. El alto potencial melífero de la Ciénaga es explotado principalmente por otros territorios. La producción agrícola es insuficiente y la infraestructura productiva, en particular los viales, resultan deficientes. La producción de artesanía, tiene un valor, relativamente bajo y la actividad turística, aunque creciente, no alcanza aún los niveles que avalan el potencial turístico de la zona. (Moya, 2003 a).

En este importante humedal se encuentra enclavada la EFI *Ciénaga de Zapata*, cuya extensión territorial supera las 400000 hectáreas, las cuales, según Departamento de Ordenación, 2006 se distribuyen en:

<b>Categoría de área</b>	<b>Superficie (ha)</b>
1. Área forestal total	276 800.90
a) De ellas: Cubierta de bosques	265 598.70
- Plantaciones adultas	4266.80
- Plantaciones en desarrollo	2296.80
- Bosque natural	259 035.10
b) Por cubrir	11 202.20
- Área inforestal	160 076.8
De ellas: Pastizales	501.40
Ciénagas	156 272.30
Tierras de cultivos (autoconsumo)	16.80
Vivero	5.00
Aserrío (naves)	26.40
Instalaciones	82.20
Pastoreo	4.0
Ríos	2703.20
Viales	291.60
Otras	177.90
<b>TOTAL</b>	<b>436 877.70</b>

Para una adecuada y planificada administración de la misma, ésta según referencia anterior, se divide en las siguientes Unidades Silvícolas:

Unidad Silvícola	Superficie (ha)
Ciénaga de Zapata (subdivida en Ciénaga Occidental y Ciénaga Oriental)	403 190.80
Jagüey Grande	10 096.10
Unión de Reyes	22 040.70
Calimete	1 576.30



Fig. 1. Localización de las Unidades Silvícolas de la EFI.

Esta área se caracteriza por presentar una temperatura mínima entre 20 °C a 25 °C y máximas de 25 °C a 30 °C; la precipitación media anual es de 1375 mm (1000 mm a 1200 mm en la costa y 1200 mm a 1400 mm en el resto del área, excepto en la parte central, que es de 1400 mm a 1600 mm) (MINAG, 2000). Además, presenta casi el 75% de su territorio con zonas inundadas o provistas de agua (Caballero *et al*, 2007).



En ella se han registrado alrededor de 900 especies de plantas autóctonas agrupadas en 110 familias, destacándose 115 endémicas cubanas, de las cuales 5 son locales y 15 raras o en peligro de extinción. La vegetación de la Ciénaga de Zapata es muy variada debido a las diferentes características ecológicas que existen en esta región (Fig.2) y está condicionada fundamentalmente por la existencia del agua como principal factor ecológico.

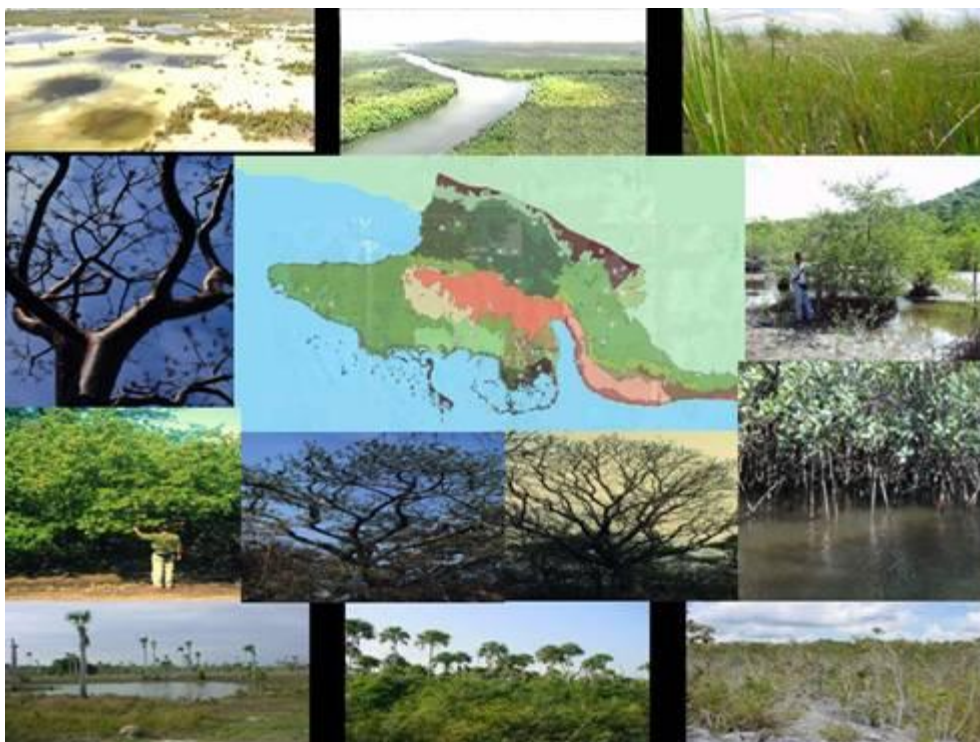


Fig.2. Características de la vegetación de la EFI.

Según MINAG (2000), en este municipio existen 16 formaciones vegetales (con predominio de los bosques naturales, los que representan 80% de la masa boscosa), siendo las principales: (Ver Anexo. 1).

- Manglar (Mg). Área considerada como extensa donde, en su estrato arbóreo, se agrupan las cuatro especies de mangles existentes en Cuba: *Rhizophora mangle*; *Avicennia germinans*; *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erecta*.
- Bosques semicaducifolios sobre mal drenaje (Scf-md): se encuentra fundamentalmente en zonas de límite entre la parte inundada y la seca. Las especies que en él se desarrollan tienen la peculiaridad de soportar la sequía en el período seco y la inundación en el período lluvioso. Es un bosque con un



estrato arbóreo ralo, el cual agrupa a una mayor cantidad de especies, entre las que se destacan *Bucida buceras*, *Calophyllum calaba*, *Swietenia mahagoni*, *Tabebuia spp*, etc.

- Bosques semicaducifolios sobre caliza (Scf-c): Es la más extensa de las formaciones no inundadas y es el principal bosque productor de madera en el área. Constituye una formación vegetal, en la que las especies del estrato arbóreo pierden sus hojas o partes de ellas durante la época de seca, encontrándose la mayor biodiversidad florística de la región, siendo las especies fundamentales *Lysiloma latisiliquum*, *Cedrela odorata*, *Sideroxylon foetidissimum*, *Swietenia mahagoni*, *Talipariti elatum*, *Gerascanthus gerascanthoides*, *Bursera simaruba*, *Dyospirus crassinervis*, entre otras. Se desarrolla sobre suelos más elevados del territorio donde el agua no inunda en ninguna época del año sus áreas, que tienen una altitud de 1 a 10 m. Han sido las áreas de mayor impacto natural por fenómenos climáticos y antropogénicos pues en ellas se asientan la mayoría de las comunidades locales.
- Herbazal de ciénaga: Es la formación de mayor extensión y la zona más baja, por tanto la más propensa a la inundación, compuesta fundamentalmente por especies herbáceas tales como *Eleocharis interstincta* (junco de ciénaga), *Typha dominguensis* (macío), *Cladium jamaicense* (cortadera de 2 filos), *Eleocharis cellulosa* (junco fino) y *Distichlis spicata* (grama de costa), que en ocasiones se mezclan con el manglar y arbustos como *Chrysobalanus icacus* (icaco). Se desarrolla sobre áreas turbosas que permanecen inundadas entre 6 y 8 meses al año. Durante los meses secos son los más fuertemente afectados por incendios.

Otra formación existente en la Península de Zapata, según Caballero *et al* (2007) es

- Bosque xeromorfo subcostero: Se representa en áreas donde la salinidad propiciada por la cercanía con el mar y la pobreza de los suelos crean extremas condiciones de aridez. En este bosque se encuentra un sistema de cenotes, rodeado de terrenos secos; el suelo es muy pobre, siendo frecuente ver los árboles aferrar sus raíces a las piedras. Las plantas de la zona costera son de poca altura, espinosas y predominan en ellas las hojas pequeñas y duras.

Se encuentran *Savia bahamensis* (icaquillo), *Bumelia glomerata* (jiquí espinoso), sobresalen algunas palmas como *Coccothrinax cuppulae* (yuraguano) y *Copernicia brytonorum* (yarey de costa).

Las plantaciones se encuentran en las zonas más elevadas, principalmente en áreas correspondientes a las unidades silvícolas *Calimete*, *Unión de Reyes* y *Jagüey Grande*; éstas se han llevado a cabo por medio de hoyos de plantación o subsolación, según lo requieran, formando generalmente bosques monoespecíficos.

En la Península de Zapata los factores de mayor incidencia constituyen la frecuencia de huracanes y los incendios forestales (Jiménez, 2006).

### **Estudio de Impacto y Adaptación.**

- Para la estima de las áreas inundables se tomaron los escenarios IS92A descritos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 1995) así como el escenario descrito por el del Instituto de Oceanología (2 mm/año, Cuba, 2006) el cual se basa en mediciones realizadas por ésta Institución en esta parte de la costa durante un período de 10 años o más, teniendo en cuenta que uno prevé los mayores y otro los menores valores de elevación del nivel mar para el país. Del primero se tomaron los valores medios establecidos sobre la elevación del nivel del mar (12,63 cm para el 2030; 23,30 cm para el 2050 y 55,20 cm para el 2100).
- Se estimaron las distancias de penetración del mar para cada tipo de pendiente en cada año (2030, 2050 y 2100) por la expresión  
 $D_p = NM/P$  donde NM: nivel de aumento del mar según el año del escenario (cm); P: pendiente (%) ésta fue medida utilizando el altímetro
- Los resultados obtenidos se reflejaron sobre un mapa de vegetación a Escala 1: 10000 para apreciar y hacer una valoración cualitativa de los impactos esperables.

- Determinación cuantitativa del área (ha) y volumen de madera ( $m^3/ha$ ) perdidos por el impacto del aumento del nivel del mar, empleando para ello una plantilla de puntos y utilizando una relación lineal tomando como base el volumen total de la entidad. Dicha valoración parte de que cada área está subdividida en categorías de manejo, estas a su vez se subdividen en lotes y/o rodales, donde se contemplan los metros cúbicos y las hectáreas que posee, se solapa este mapa con la mapificación de la penetración del mar y la plantilla de puntos (donde cada punto representa 0,5 ha) obteniéndose las áreas afectadas y a su vez los metros cúbicos que comprende cada rodal o lote.
  - Se realizó el cálculo del impacto relacionado con el carbono liberado por los incendios forestales ocurridos desde el 2001 hasta el 2007 empleando dos metodologías: la primera (Mercadet y Álvarez, 2006), tiene en consideración el carbono retenido en los bosques naturales y plantaciones, así como el área afectada lo cual se representa mediante la expresión

$C_{INC} = ((CR_{BABN} + CR_{BAP}) / (S_{BN} + S_{TP})) \times SM_Q$ , donde

$CR_{BABN}$ = carbono total retenido por la biomasa aérea de los bosques naturales;  $CR_{BAP}$ = carbono total retenido por la biomasa aérea de las plantaciones;

$S_{BN}$ = superficie total de los bosques naturales de la Empresa;

$S_{TP}$ = superficie total de plantaciones de la empresa;

$SM_Q$ = superficie afectada.

La segunda, tiene implícito los coeficientes reportados por el método de Herbert y citado por Cuerpo de Guardabosques de Cuba (2006) cuya expresión se representa como

Emisión del elemento=  $TMQ \times RME$ , donde  $TMQ$  (toneladas de madera quemadas),

$TMQ$ = Total de hectáreas dañadas X aporte residual promedio (14 t/ha- 55t/ha) y

$RME$ = Rango Medio de Emisión, para  $CO_2=1.246$  t/t.

$$\text{CO}=0.294\text{t/t.}$$

$$\text{Hidrocarbonos}=0.062 \text{ t/t.}$$

$$\text{Partículas}=0.062 \text{ t/t}$$

Se realizó el cálculo de emisiones de otros contaminantes principales y generados por la combustión de la vegetación, empleando la expresión referida por Álvarez (2009)

$$L \text{ (tGEI)}= A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}, \text{ donde } A= \text{Superficie quemada (ha)}$$

$M_B$ = Masa disponible para la combustión (t/ha) que incluye la biomasa (aérea y subterránea) y necromasa

$C_f$ = factor de combustión.  $C_f$ = 0.46 plantaciones en desarrollo

0.50 plantaciones establecidas

0.55 bosque montaña

0.74 bosque de sabana

0.70 humedales

0.95 área por reforestar

$G_{ef}$ = factor de emisión (g/kg de materia seca quemada) donde  $\text{CO}_2=1580$   
(para llevar los tres últimos a  $\text{CO}_2$ equivalente)  $\text{CO}=104$

$$\text{CH}_4=6.8$$

$$\text{N}_2\text{O}=0.2$$

Cuando sucede un incendio se realiza una evaluación inmediata y otra algunos días después, pues muchos árboles que aparecen dañados pueden recuperarse y en otros casos puede ocurrir lo contrario. La superficie que se cuantifica es sólo la que ha sufrido daños. Para diagnosticar el volumen afectado, se realiza (en algunas áreas) primeramente una corta de salvamento o calamidad, se extraen las trozas, se mide el diámetro de los extremos y el del centro del fuste, así como la longitud. Posteriormente se promedia las tres mediciones diamétricas y se calcula el volumen empleando la siguiente fórmula:

$$d^2 * L, \text{ donde: } d= \text{diámetro de la troza.}$$

$$L= \text{longitud de la troza.}$$

En otras de mejor accesibilidad, se evalúa (medición de diámetro y altura empleando cinta diamétrica e hipsómetro) el árbol dañado que está en pie y se calcula el volumen mediante la fórmula:  $(d^2 * \pi/4 * (h+3) * f)$  donde:

$d^2$ = Diámetro expresado en metros elevado al cuadrado.

$h$ = Altura del árbol a la cual se le suma 3 por ser latifolias, tomando este valor como error visual.

$f$ = Coeficiente de forma de cada especie.

- Se determinó, en colaboración con la Universidad de Alicante, el impacto del incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis de algunas especies forestales empleando para ello el equipo LI-6400 que cuenta con un sistema para medir fotosíntesis y transpiración.

### **Estudio de Mitigación:**

- Se aplicó una primera metodología elaborada por Mercadet y Álvarez (2006) donde se utilizó el Factor de Contenido Medio de Carbono, utilizado a escala internacional, el cual considera un componente químico esencial de contenido de carbono en la madera del 45% (FCMC<sub>M</sub>=0.45). Para ello se siguieron los siguientes pasos:

#### **1. En las plantaciones. Análisis realizado para cada especie:**

Se parte primeramente de la obtención del volumen, para ello se levantaron parcelas rectangulares de 500 m<sup>2</sup> (20 m x 25 m), midiendo a cada árbol comprendido dentro de la parcela las variables diámetro (para aquellos árboles con un valor de 3 cm y más, utilizando una cinta diamétrica) y altura (hipsómetro de Blume Leiss). Para obtener al final el volumen se utilizó la fórmula  $(d^2 * \pi/4 * (h+3) * f)$

El valor obtenido en la parcela se lleva a la superficie en hectárea comprendida por la plantación y se obtiene el volumen por hectárea.

#### **b) Cálculo del Carbono retenido por la biomasa.**

- Se convirtió el volumen de los fustes en toneladas de biomasa mediante la expresión

$BM_F = \text{volumen (m}^3) \times \text{Densidad básica maderable de la especie (kg/m}^3) / 1000$ )

- Se adicionó a la biomasa de los fustes la biomasa restante (ramas, follaje y raíces) utilizando el Factor de Expansión de la Biomasa establecido para bosques tropicales y reportado por Segura (2001) de 1.74, quedando:

$BM_T = BM_F \times FEB.$

- Se estimó el carbono retenido en la biomasa total, utilizando el Factor de Contenido Medio de Carbono en la madera (CR) y empleando la expresión  $CR = BM_T \times FCMC_M$ , donde  $FCMC_M = 0.45$ .

c) Cálculo del carbono retenido en el suelo (CC).

- Se estimó el contenido de carbono en el primer metro de profundidad del suelo, utilizando el valor promedio reportado para los bosques tropicales latifolios (VPCT) sugerido por Núñez (2003), mediante el procedimiento siguiente

$CC = \text{Superficie (ha)} \times VPC_{BT} \text{ (t/ha)}$ , donde  $VPC_{BT} = 123 \text{ t/ha}$ .

d) Cálculo del total de carbono retenido por la especie, para lo cual, se sumaron los resultados obtenidos en los dos incisos anteriores.

e) Cálculo del total de carbono retenido por las plantaciones: se sumaron los resultados totales alcanzados para cada especie.

## 2. Cálculo del carbono en los bosques naturales.

- Se siguió el procedimiento anterior, solo que para el cálculo del carbono retenido en la biomasa, se empleó la densidad básica media de la formación boscosa existente, estimados a partir de los valores correspondientes a las especies que la integran (Manglar – 1198 kg/m<sup>3</sup>; Uveral – 700 kg/m<sup>3</sup>; Semicaducifolio sobre suelos de mal drenaje – 560 kg/m<sup>3</sup>; Semicaducifolio sobre calizas – 663 kg/m<sup>3</sup> y 600 kg/m<sup>3</sup> para aquellas no clasificadas reportado para los bosques tropicales.
- Para el cálculo del carbono retenido en el suelo, se tuvo en cuenta, el coeficiente específico de cada formación (Manglar – 643 t/ha; Uveral – 42 t/ha reportado por Bolin y Sukamar (2000); Semicaducifolio sobre suelos de mal

drenaje y Semicaducifolio sobre calizas – 76 t/ha , valor promedio de los rangos planteados por Nabuurs y Mohren (1993), ICRAF-ASB (2001), Adger y Brown (1994);

2. Se calculó el carbono retenido en las áreas por reforestar.
  - a) Se determinó el carbono retenido por la biomasa para lo cual, se estimó el contenido de carbono utilizando la superficie por reforestar y el coeficiente específico de carbono de la vegetación de 15 t/ha establecido por Adger y Brown (1994).
  - b) Se estimó el carbono retenido en el suelo utilizando la superficie por reforestar y el coeficiente específico de carbono en el suelo con valor 38 t/ha sugerido por Adger y Brown (1994).
3. Se calculó el carbono en las áreas inforestales, empleando según el caso, los coeficientes específicos de carbono (t/ha) para la vegetación y el suelo atendiendo a la condición prevista y reportados por Bolin & Sukumar (2000) y ICRAF-ASB (2001) consistente en

CONDICION	VEGETACION	SUELO
Desiertos y semidesiertos	2	42
Pantanos	43	643
Tierras agrícolas	2	80
Pastos	5	33

- A la metodología propuesta por Mercadet y Álvarez (2006), se le aplicó una segunda variante donde se empleó el coeficiente de carbono determinado para las maderas cubanas a nivel de laboratorio, coeficiente establecido mediante la definición del porcentaje de carbono y nitrógeno contenido en corteza y madera, tomando una muestra de tres árboles por especie, las cuales contaban un peso de 100 g de madera. Cada muestra fue desecada en condiciones ambientales, separadas la corteza de la madera y molidas, para luego proceder a la determinación de sus contenidos de carbono y nitrógeno mediante el empleo del analizador elemental LECO, modelo TruSpec CN, utilizando el patrón EDTA con

40.94% de concentración de carbono. Esta metodología contiene los siguientes pasos:

1. Se recopiló la información relacionada en la Empresa.

a) Nombre de la empresa.

b) Localización y mapa.

c) Superficie total [ha].

- De ella, superficie para bosques [ha].

- Superficie por categoría de bosques [ha].

- Superficie con bosques naturales [ha].

  - Ø Superficie por tipo de formación boscosa [ha].

- Superficie con plantaciones [ha].

  - Ø Superficie por especie [ha].

- Superficie por (re)forestar [ha].

  - Ø Superficie plantada anualmente [ha] y logro de las plantaciones (%).

- De ella, superficie inforestal [ha].

- Superficie de pastizales [ha].

- Superficie de ciénagas [ha].

- Superficie agrícola [ha].

- Superficie desértica y semidesértica [ha].

- Otras superficies [ha].

d) Volumen total en pie [m<sup>3</sup>].

- Volumen de los bosques naturales [m<sup>3</sup>].

- Volumen por formación boscosa en cada categoría de bosque [m<sup>3</sup>].

- IMA del volumen de los bosques naturales [m<sup>3</sup>].

- Volumen de las plantaciones [m<sup>3</sup>].

- Volumen por especie [m<sup>3</sup>].

- IMA del volumen de las plantaciones [m<sup>3</sup>].

- De no contarse con los IMA particulares (bosques naturales y plantaciones), solicitar el IMA general de los bosques de la empresa.



e) Otros datos.

- Superficie media anual talada (tala rasa) [ha].
- Volumen medio anual extraído por otras talas (sanitaria, selectiva, etc.) [m<sup>3</sup>]
- Superficie media anual de bosques perdida por incendios [ha].

### **Cálculo del carbono retenido en las plantaciones.**

#### **Plantaciones establecidas (con 3 ó más años de iniciadas).**

Para cada especie:

a) Cálculo del carbono retenido por la biomasa.

- Convertir el volumen de los fustes en biomasa ( $BM_F$  [t]):

$$BM_F (t) = \text{Volumen [m}^3] \times \text{Densidad [kg/m}^3] \times 1000^{-1}$$

- Para ello se utilizó la base de datos de densidad considerando que:
  - En primera instancia se empleó la Densidad Básica de la especie;
  - De no tenerse este valor, se utilizó la Densidad Seca al Aire de la especie;
  - Si ninguno de estos valores está disponible, se tomaba la Densidad Promedio de la madera de los Bosques Tropicales Americanos

( $D_{PBTA} = 600 \text{ kg/m}^3$ ).

- Cálculo de la biomasa aérea (fustes, ramas y follaje) ( $BM_{APT}$ ), utilizando el Factor de Expansión de la Biomasa (FEB) referido por Álvarez *et al* (inédito):

$$BM_A = BM_F \times FEB \quad (FEB = e^{(3,213 - 0,506 \ln BM_F)})$$

- Cálculo de la biomasa de las raíces ( $BM_R$ ) a partir de la biomasa aérea empleando el coeficiente reportado por Ibáñez *et al* (1999):

$$BM_R = BM_A \times 0,3$$

- Cálculo de la biomasa total ( $BM_T$ ):

$$BM_T = BM_A + BM_R$$

- Se estimó el carbono retenido ( $CR_{BTPT}$ ) en la biomasa total de las plantaciones:

$$CR_{BTPT} = BM_T \times FCC_M$$

- Para ello, se utilizó:

- La Fracción Media de Contenido de Carbono en la Madera ( $FCC_M$ ) correspondiente a la especie.

b) Cálculo del carbono retenido en el suelo.

- Se estimó el carbono retenido en el primer metro de profundidad del suelo ( $CR_{SPT}$ ), utilizando el valor promedio de carbono retenido por los bosques tropicales ( $CR_{SBT}$ ) establecido por Bolin y Sukumar (2000):

$$CR_{SPT} [t] = \text{Superficie [ha]} \times C_{SBT} [t/ha] \quad (C_{SBT} = 123 \text{ t / ha})$$

c) Cálculo del total de carbono retenido por especie mediante la expresión

$$CR_{ESPT} = CR_{BTPT} + CR_{SPT}$$

Para el total de carbono total retenido por las plantaciones establecidas ( $CR_{PT}$ ) se sumaron los resultados totales alcanzados para cada especie.

### **Plantaciones en establecimiento (con menos de 3 años de iniciadas).**

a) Cálculo del promedio de carbono retenido por hectárea anualmente, por la biomasa de las plantaciones establecidas ( $CRP_{BPT}$ ):

$$CRP_{BPT} [t / ha / \text{año}] = CR_{BPT} [t] / S_{PT} [ha] / TT [\text{años}]$$

Donde:

- $CR_{BPT}$ : carbono retenido por la biomasa de las plantaciones establecidas.
- $S_{PT}$ : superficie de las plantaciones establecidas.
- $TT$ : turno promedio de tala de las plantaciones.

b) Cálculo del carbono retenido por la biomasa de las plantaciones en establecimiento ( $CR_{BPTe}$ ):

$$CR_{BPTe} [t] = \text{Edad [años]} \times CRP_{BPT} [t / ha / \text{año}] \times S_{PTE} [ha]$$

Donde:

-  $S_{PTE}$ : superficie de las plantaciones en establecimiento.

c) Cálculo del carbono retenido por el suelo de las plantaciones en establecimiento ( $CR_{SPTE}$ ):

- Se estimó el carbono retenido en el primer metro de profundidad del suelo ( $CR_{SPTE}$ ), utilizando el valor de carbono retenido en el suelo de los bosques tropicales ( $C_{SBT}$ ):

$$CR_{SPTE} [t] = S_{PTE} [ha] \times C_{SBT} [t/ha] \quad (C_{SBT} = 123 t / ha)$$

a) Cálculo del carbono total retenido por las plantaciones en establecimiento ( $CR_{PTE}$ ):

Resultante de sumar los valores obtenidos en los incisos (b) y (c).

$$CR_{PTE} = CR_{BPTE} + CR_{SPTE}$$

Para el total de carbono total retenido por las plantaciones en establecimiento ( $CR_{PTE}$ ) se sumaron los resultados totales alcanzados para cada especie.

### **Cálculo del carbono retenido en los bosques naturales.**

Para cada formación forestal:

En el caso de los bosques naturales, para la obtención del volumen, primeramente se establecieron parcelas rectangulares de 500 m<sup>2</sup> (20m x 25 m) en cada formación boscosa; se midieron el diámetro y altura de cada ejemplar arbóreo contenido dentro de la parcela empleando una cinta diamétrica y un hipsómetro de Blume Leiss, empleando la misma fórmula descrita anteriormente para la obtención del volumen de la parcela. Este valor obtenido en la parcela se lleva a la superficie en hectárea comprendida por la formación y se obtiene el volumen por hectárea.

El número de parcelas establecidas varió de acuerdo a la superficie de las formaciones boscosas, la accesibilidad y heterogeneidad.

a) Cálculo del carbono retenido por la biomasa.

- Se convirtió el volumen de los fustes en toneladas de biomasa ( $BM_F$ ) mediante la expresión:

$$BM_F = \text{Volumen [m}^3] \times \text{Densidad [kg/m}^3] / 1000$$

Para ello se utilizó la Densidad Básica Media de la formación, según los valores siguientes (en kg/m<sup>3</sup>), estimados a partir de los valores correspondientes a las especies que la integran: Manglar – 643 t/ha; Uveral – 42 t/ha reportado por Bolin y Sukamar (2000); Semicaducifolio sobre suelos de mal drenaje y Semicaducifolio sobre calizas – 76 t/ha , valor promedio de los rangos planteados por Nabuurs y Mohren (1993), ICRAF-ASB (2001), Adger y Brown (1994);

- Cálculo de la biomasa aérea (fuste, ramas y follaje) (BM<sub>A</sub>), utilizando el Factor de Expansión de la Biomasa (FEB):

$$BM_A = BM_F \times FEB \quad (FEB = e^{[3,213 - 0,506 \ln BM_F]})$$

- Cálculo de la biomasa de las raíces (BM<sub>R</sub>):

$$BM_R = BM_A \times 0,3$$

- Cálculo de la biomasa total (BM<sub>T</sub>):

$$BM_T = BM_A + BM_R$$

- Se estimó el carbono retenido por la formación natural (CR<sub>BFN</sub>) en la biomasa total, utilizando la Fracción de Contenido Medio de Carbono en la madera (FCMC<sub>M</sub>):

$$CR_{BFN} = BM_T \times FCMC_M$$

Para ello se utilizó la Fracción de Contenido Medio de Carbono (FCMC<sub>M</sub>) en la madera planteado obtenida a escala de laboratorio, según corresponda a cada especie.

#### b) Cálculo del carbono retenido en el suelo.

Se estimó el contenido de carbono en el primer metro de profundidad del suelo:

$$CR_{SFN} [t] = S_{FN} [ha] \times CR_{SFN} [t/ha]$$

Donde:

- S<sub>FN</sub>: superficie de la formación.

- $CR_{SFN}$  : carbono retenido en el suelo de la formación natural, (Manglar – 643 t/ha; Uveral – 42 t/ha reportado por Bolin y Sukamar (2000); Semicaducifolio sobre suelos de mal drenaje y Semicaducifolio sobre calizas – 76 t/ha , valor promedio de los rangos planteados por Nabuurs y Mohren (1993), ICRAF-ASB (2001), Adger y Brown (1994);

c) Cálculo del total de carbono retenido por la formación. Se sumaron los resultados alcanzado en los incisos (a) y (b).

$$CR_{FN}[t] = CR_{BFN} + CR_{SFN}$$

Para el total de carbono retenido por los bosques naturales ( $CR_{BN}$ ) se sumaron todos los resultados totales alcanzados para cada formación.

### **Cálculo del carbono retenido en la necromasa.**

a) Cálculo de la necromasa (NM) existente en las plantaciones y bosques naturales empleando el coeficiente reportado por Harmon *et al* (2001).

$$NM_{PT} [t] = S [ha] \times 18,2 [t / ha] \quad NM_{FN} [t] = S [ha] \times 18,2 [t / ha]$$

donde: S – superficie de la especie ó formación forestal correspondiente (excepto para la formación Manglar).

b) Cálculo del carbono contenido en la necromasa. ( $CR_{NM}$ )

Se multiplicó la necromasa estimada por el carbono correspondiente a la especie o formación forestal correspondiente.

$$CR_{NMPT}[t] = NM_{PT} \times FCMC_M$$

$$CR_{NMFN}[t] = NM_{FN} \times FCMC_M$$

Para el total de carbono retenido por la necromasa del total de las plantaciones establecidas ( $CR_{NMPT}$ ) se sumaron los resultados totales alcanzados para cada especie.

Para el total de carbono retenido por la necromasa de los bosques naturales ( $CR_{NMBN}$ ) se sumaron los resultados totales alcanzados para cada formación.

### **Cálculo del carbono retenido en las áreas por (re)forestar.**

a) Cálculo del carbono retenido por la biomasa ( $CR_{BAR}$ )

$$CR_{BAR} [t] = S [ha] \times 18,2 [t / ha]$$

Se estimó el contenido de carbono utilizando la superficie por cubrir y como coeficiente específico de carbono en la vegetación, el valor 15 t/ha, coeficiente reportado por Adger y Brown (1994). En caso que parte de esta área esté reportada como cubierta por marabú o especies similares como la aroma Weyler, se utilizó el valor 29,4 t/ha reportado por Herrero *et al* (2004).

b) Cálculo del carbono retenido en el suelo ( $CR_{SAR}$ )

Se estimó el contenido de carbono en el primer metro de profundidad del suelo, utilizando la superficie por cubrir y como coeficiente específico de carbono en el suelo, el valor 38 t/ha reportado por Adger y Brown (1994).

$$CR_{SAR} [t] = S [ha] \times 38 [t / ha]$$

c) Cálculo del total de carbono retenido por las áreas por (re)forestar.

Se sumaron los resultados alcanzado en los incisos (a) y (b).

$$CR_{AR} = CR_{BAR} + CR_{SAR}$$

**Cálculo del carbono retenido en las áreas inforestales mediante las expresiones**

$$CR_{BAI}[t] = S [ha] \times \text{coeficiente} [t / ha]$$

$$CR_{SAI} [t] = S [ha] \times \text{coeficiente} [t / ha]$$

Se empleó, según el caso los siguientes coeficientes específicos de carbono (t/ha) para la vegetación citado por Bolin y Sukumar (2000) y suelo reportado por ICRAF-ASB (2001).

CONDICION	VEGETACION	SUELO
Desiertos y semidesiertos	2	42
Pantanos	43	643
Tierras agrícolas	2	80
Pastos	5	33

Para calcular el total de carbono retenido, se sumaron los dos valores de cada condición.

$$CR_{AI} = CR_{BAI} + CR_{SAI}$$

Todos los coeficientes para el cálculo del carbono contenido en el suelo y en la necromasa utilizados, fueron los establecidos para la región de Centro América y El Caribe afianzados por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), tomándose el criterio de que era mejor mostrar una valoración inicial hasta que se obtuvieran los índices concretos para el país.

**Cálculo del total de carbono retenido (CR<sub>0</sub>) por la empresa en el año base.**

Se sumaron los totales de carbono obtenidos para las plantaciones establecidas y en establecimiento, los bosques naturales, las áreas por (re)forestar y las áreas inforestales.

$$CR_0 = CR_{PT} + CR_{PTE} + CR_{BN} + CR_{NMPT} + CR_{NMBN} + CR_{AR} + CR_{AI}$$

- A la metodología propuesta por Mercadet y Álvarez (2006) se aplicó una segunda variante, donde se tuvo en cuenta los rangos porcentuales de carbono presentes en la madera y corteza, también obtenidos a nivel de laboratorio.
- Se determinó la cantidad de carbono retenido por cada gramo de nitrógeno absorbido de 13 especies forestales empleando para ello los siguientes pasos:
  1. Cálculo de la eficiencia en el uso del nitrógeno mediante la fórmula siguiente  
Eficiencia en el uso del N<sub>2</sub>= ((Peso corteza x concentración N en corteza) + (Peso madera x concentración N en madera))/ Peso total.
  2. Cálculo del carbono retenido por cada gramo de nitrógeno absorbido mediante la expresión  
CR por g de N= ((Peso corteza x concentración C en corteza) + Peso madera x concentración C en madera) x Eficiencia)/ Peso total
  3. Cálculo de la relación carbono – nitrógeno (C/N)
- Se realizó la estimación de la línea base de la empresa a partir del año base teniendo en cuenta los criterios metodológicos de Mercadet y Álvarez (2006), para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

A. Cálculo de los cambios anuales de la línea base de carbono de la empresa.

A.1. La variación media anual de la superficie cubierta (VMA<sub>SC</sub>) de la empresa se define por:

$$VMA_{SC} [\text{ha/año}] = (SM_{RF} [\text{ha/año}] \times CL) - (SM_{TR} [\text{ha/año}] + SM_Q [\text{ha/año}])$$

Donde:

- SM<sub>RF</sub>: superficie media anual (re)forestada.
- CL: coeficiente promedio de logro de las plantaciones (0,00 ≤ CL ≤ 1,00). Éste coeficiente está determinado por el porciento de supervivencia alcanzado por las plantaciones una vez estén establecidas, para lo cual ha de transcurrir un período de tres años.
- SM<sub>TR</sub>: superficie media anual de talas rasas.
- SM<sub>Q</sub>: superficie media anual quemada por incendios.



Si este valor es positivo, la superficie cubierta de la empresa aumenta anualmente; sin embargo, si es negativo, significa que la empresa irá reduciendo paulatinamente sus áreas boscosas.

A.2. El tiempo (T) requerido por la empresa para cubrir todo su patrimonio se define por:

$$T \text{ [años]} = S_{PRF} \text{ [ha]} / VMA_{SC} \text{ [ha/año]}$$

Donde:

- $S_{PRF}$ : superficie total por (re)forestar de la empresa.
- $VMA_{SC}$ : variación media anual de la superficie cubierta.

A.3. La variación de la línea base de carbono de la empresa en el tiempo queda definida por:

$$\Delta C_N \text{ [t]} = CR_{(N-1)} + (C_{IMAFN} + C_{IMAPT} + \{N \times C_{ARF1} \times CL\}) - (C_{TR} + C_{OT} + C_{INC} + C_{ARF0})$$

**[1]**

Donde:

- $\Delta C_N$ : valor del acumulado de carbono para el año N.
- $CR_{(N-1)}$ : carbono retenido el año (N – 1).
- $C_{IMAFN}$ : carbono aportado por el incremento de la biomasa de los bosques naturales.
- $C_{IMAPT}$ : carbono aportado por el incremento de la biomasa de las plantaciones existentes.
- N: año para el que se precisa obtener el valor de  $\Delta C_N$  ( $1 \leq N \leq 10$ ).
- $C_{ARF1}$ : carbono anual que aporta el área (re)forestada.
- CL: coeficiente promedio de logro de las plantaciones ( $0,00 \geq CL \geq 1,00$ ).
- $C_{TR}$ : carbono retirado del bosque por las talas rasas.
- $C_{OT}$ : carbono retirado del bosque por otras talas.
- $C_{INC}$ : carbono liberado por los incendios forestales.
-

- $C_{ARF0}$ : carbono aportado antes de la plantación por el área (re)forestada el año (N-1).

Para la obtención de cada una de las expresiones incluidas en [1], se procede de la forma siguiente:

- a) Cálculo del carbono aportado por el incremento de la biomasa de los bosques naturales ( $C_{IMABN}$ ).

$$C_{IMAFN} [\text{t} / \text{año}] = \text{IMA}_{FN} [\text{m}^3 / \text{ha} / \text{año}] \times (\text{CR}_{FN} [\text{t}] / V_{FN} [\text{m}^3]) \times S_{FN} [\text{ha}] \quad [2]$$

Donde:

- $\text{IMA}_{FN}$ : incremento medio anual de los bosques naturales de la empresa.
- $\text{CR}_{FN}$ : carbono total retenido por la biomasa (aérea y soterrada) de los bosques naturales.
- $V_{FN}$ : volumen total en pie de los bosques naturales.
- $S_{FN}$ : superficie de bosques naturales.

- b) Cálculo del carbono aportado por el incremento de la biomasa de las plantaciones ( $C_{IMAPT}$ ).

$$C_{IMAPT} [\text{t} / \text{año}] = \text{IMA}_{PT} [\text{m}^3 / \text{ha} / \text{año}] \times (\text{CR}_{BP} [\text{t}] / V_{PT} [\text{m}^3]) \times S_{TPT} [\text{ha}] \quad [3]$$

Donde :

- $\text{IMA}_{PT}$ : incremento medio anual de las plantaciones de la empresa.
- $\text{CR}_{BP}$ : carbono total retenido por la biomasa (aérea y soterrada) de las plantaciones (establecidas y en establecimiento).
- $V_{PT}$ : volumen total en pie de las plantaciones.
- $S_{TPT}$ : superficie total de plantaciones (establecidas y en establecimiento) en el año base.

- c) Cálculo del carbono anual que aporta el área (re)forestada ( $C_{ARF1}$ ).

$$C_{ARF1} [\text{t} / \text{año}] = (\text{CR}_{TP} [\text{t}] / S_{TP} [\text{ha}] / \text{TT} [\text{años}]) \times (\text{SM}_{RF} [\text{ha}] \times \text{CL} [\text{s/u}]) \quad [4]$$

Donde:

- $CR_{TP}$ : carbono total retenido (biomasa y suelo) por las plantaciones (establecidas).
- $S_{TP}$ : superficie total de plantaciones (establecidas) de la empresa.
- $TT$ : turno medio de tala de las plantaciones.
- $SM_{RF}$ : superficie media anual reforestada.
- $CL$ : coeficiente promedio de logro de las plantaciones ( $0,00 \leq CL \leq 1,00$ ).

d) Cálculo del carbono retirado del bosque por las talas rasas ( $C_{TR}$ ).

$$C_{TR} [t] = \{(CR_{BABN} [t] + CR_{BAP} [t]) / \{S_{BN} [ha] + S_{TP} [ha]\}\} \times SM_{TR} [ha] \quad [5]$$

Donde:

- $CR_{BABN}$ : carbono total retenido por la biomasa aérea de los bosques naturales.
- $CR_{BAP}$ : carbono total retenido por la biomasa aérea de las plantaciones.
- $S_{BN}$ : superficie total de bosques naturales de la empresa.
- $S_{TP}$ : superficie total de plantaciones (establecidas) de la empresa.
- $SM_{TR}$ : superficie promedio anual de talas rasas.

e) Cálculo del carbono retirado del bosque por otras talas ( $C_{OT}$ ).

$$C_{OT} [t] = V_{OT} [m^3] \times D_{PBTA} [kg / m^3] \times FCMC_M [s/u] \times 10^{-3} \quad [6]$$

Donde:

- $V_O$  : volumen de madera extraído del bosque por otras talas.
- $D_{PBTA}$ : densidad promedio de los bosques tropicales americanos ( $600 \text{ kg} / \text{m}^3$ ).
- $FCMC_M$ : fracción de contenido medio de carbono en la madera ( $FCMC_M$ ) (Anexo 2, final).

f) Cálculo del carbono liberado por los incendios forestales ( $C_{INC}$ ) ocurridos.

$$C_{INC} [t] = \{(CR_{BABN} [t] + CR_{BAP} [t]) / (S_{BN} [ha] + S_{TP} [ha])\} \times SM_Q [ha] \quad [7]$$

Donde:

- $CR_{BABN}$ : carbono total retenido por la biomasa aérea de los bosques naturales.
- $CR_{BAP}$ : carbono total retenido por la biomasa aérea de las plantaciones (establecidas y en establecimiento).

- $S_{BN}$ : superficie total de bosques naturales de la empresa.
- $S_{TP}$ : superficie total de plantaciones de la empresa (establecidas y en establecimiento).
- $SM_Q$ : superficie promedio de bosque quemado anualmente.

g) Cálculo del carbono aportado antes de la plantación, por el área (re)forestada el año base ( $C_{ARF0}$ ).

Partiendo de que esta área ya fue considerada como parte de la superficie por (re)forestar en la obtención del valor inicial de retención de carbono por la empresa, al ser ahora considerada como área ya (re)forestada por el inciso (c), es preciso reajustar su aporte de carbono a partir del valor inicial. Para ello, se utilizará una de las siguientes expresiones:

- Si no se consideró cubierta por Marabú o especies similares.

$$C_{ARF0} [t] = 15 [t / ha] \times SM_{RF} [ha] \quad [8]$$

Donde:

- $SM_{RF}$ : superficie media (re)forestada anualmente.
- Si se consideró cubierta por Marabú o especies similares.

$$C_{ARF0} [t] = 29,4 [t / ha] \times SM_{RF} [ha] \quad [9]$$

Donde:

- $SM_{RF}$ : superficie media (re)forestada anualmente.
- Para el análisis económico realizado se empleó el valor de 10 USD/t de carbono, según lo reportado por la Bolsa Internacional de Carbono de Holanda y que aparece citado por Castro y Cordero (2002) y el concepto de beneficio bruto establecido por Gloria (2001) el cual comprende el beneficio potencial en un período determinado de tiempo por el precio estimado, o sea, comprende la producción potencial ( $m^3/ha/año$  o  $m^3/ha$ ) teniendo en cuenta el precio promedio estimado para los productos de madera extraídos.

## **CAPITULO IV.**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

#### **PARTE I. Caracterización de las principales especies forestales**

##### **Especificidad de respuestas al cambio climático.**

La respuesta de los ecosistemas al cambio climático está originando un debate similar al que se produjo hace más o menos tres décadas cuando, aproximaciones holísticas como la del ecosistema-cuenca propuesta por Likens *et al.* (1977) proponían estudiar los ecosistemas como *cajas negras* en las que, el conocimiento de los flujos de entrada permitiesen hacer predicciones sobre los de salida, sin necesidad de tener una información detallada de todos los procesos que en ellos tienen lugar. En contra de esta propuesta, existía otra denominada *determinista* cuyo representante pudiera ser por ejemplo Harper (1979) y que mantenían que no era posible hacer predicciones sobre aspectos globales del ecosistema sin conocer todos los mecanismos de interacción que tiene lugar en él. Es cierto que en esa polémica, “las unidades” que se consideraban al analizar el ecosistema eran mucho más fisicoquímicas en el caso de los *holistas* (biomasas, energía, elementos químicos) y biológicas (especies, genotipos) en el caso de los deterministas.

El problema del cambio climático es sin duda global y eso explica que el enfoque predominante con que se aborda sea el holístico, dada la urgencia en conocer cual es la respuesta de los ecosistemas, en su conjunto, a los diferentes escenarios climáticos propuestos (IPCC 2007). Sin embargo, se debe recordar que las biocenosis están formadas por poblaciones de especies que pueden presentar respuestas muy distintas ante las variaciones de factores tales como la temperatura o la disponibilidad de agua. Sin pretender afirmar que hasta que no se conozcan las respuestas de cada una de las especies que constituyen una comunidad no se podrá realizar ninguna predicción sobre cual será su respuesta al cambio climático, si que es importante resaltar, que es una simplificación no deseable, esperar que todas las especies vayan a responder de la misma forma a los cambios de los factores climáticos.

Aún sin entrar en aspectos más biológicos de las características ecológicas de cada especie o de la variabilidad genética de sus poblaciones, y en el caso concreto de los árboles, es bien conocida la existencia de diferencias importantes en la composición química de las hojas, y también de la madera (Specht 1988, Canell 1994, Reichle 1996) y sin embargo, en el caso de las investigaciones sobre el secuestro de carbono, que se producen ahora de forma acelerada, se suele aceptar un invariable valor para la concentración de carbono en la madera. Además, desde los primeros estudios sobre la caracterización biogeoquímica de los ecosistemas forestales del IBP (Duvigneaud 1973) es bien conocida la importante diferencia de composición que existe entre la corteza y el resto del tallo arbóreo, como también es bien sabido por los forestales que existen diferencias entre la proporción corteza/madera en las distintas especies.

Ya existen ejemplos de que los efectos del calentamiento atmosférico, no afectan por igual a los diferentes componentes del bosque tropical. Se ha constatado de que en el Amazonas la abundancia de lianas se ha duplicado en los últimos diez años (Phillips *et al.* 2002) o que este tipo de plantas parece beneficiarse más del enriquecimiento de CO<sub>2</sub> que los árboles que las soportan, según se ha visto con datos de producción de hojas en una parcela de Barro Colorado (Wright *et al.* 2004). Además, en un detallado estudio de la evolución, en las últimas décadas, de la abundancia de especies en un bosque tropical se ha visto que las especies que forman el estrato superior del bosque, incrementan sus tasas de crecimiento mientras que las de lento crecimiento presentes en el sotobosque, se están viendo desfavorecidas (Laurance *et al.* 2004).

Hay que tener en cuenta que la principal particularidad del presente cambio climático es la rapidez con que se está produciendo ya que variaciones que en el pasado tardaron en darse algunos miles de años se están desarrollando ahora en algunas décadas, debido a ello muchos ecosistemas no pueden responder ni emigrar en periodos de tiempo tan cortos y además las especies que los componen varían enormemente en su capacidad de respuesta (Houghton 1997).

Los árboles son organismos de vida larga con pocas posibilidades de dar respuesta, por vía genética o por migración, a la velocidad de los cambios como los que se están produciendo, pero además son muy sensibles a pequeñas variaciones de los factores climáticos en los que habitan y así se ha estimado que con un incremento de la concentración atmosférica de dióxido de carbono se afectaría el 65 % de las áreas forestales en las zonas boreales (Miko *et al.* 1996).

En los últimos años parece imponerse la idea de que la velocidad del cambio impone serias limitaciones a la capacidad de los árboles para adaptarse a nuevas condiciones climáticas (Alcamo *et al.* 2007). Hay que tener presente que, tal como destaca Valladares (2004) el cambio climático se superpone a los problemas de pérdida y fragmentación de hábitats, pérdidas de suelo, contaminación e invasión de especies exóticas (agravados por un efecto antrópico), lo que en conjunto reduce de forma significativa la regeneración y la supervivencia a largo plazo de muchas especies forestales, porque además el bosque no es solo la suma de un determinado número de árboles sino que en su funcionamiento son importantes un gran número de interacciones entre las especies de plantas, de animales y de microorganismos que coexisten en él, y hay que admitir que la comprensión de todos estos complejos procesos, y de su sensibilidad a los cambios de factores climáticos es muy limitada (Peñuelas y Filella 2001, Bascompte *et al.* 2006, Valladares 2008).

Como indican Valladares y Gianoli (2007) parece evidente que no haya que esperar a conocer todo el intrincado complejo de interacciones entre las especies que habitan un ecosistema antes de emprender acciones de mitigación con un adecuado manejo de los ecosistemas forestales, pero también es cierto, que en un análisis de las capacidades de un bosque, como el que se aborda en esta investigación, para retener carbono atmosférico, se considera importante destacar el papel que juegan las diferentes especies en ese proceso global del secuestro de carbono. Es por eso que en este cuarto capítulo, el primero de resultados se ha realizado un gran esfuerzo para reunir información sobre cada una de las particularidades de las principales especies forestales de la Ciénaga de Zapata que se consideran relevantes en relación al balance

de carbono del bosque en que viven. Y así, además de una mínima información sobre sus características botánicas se proporcionan datos sobre:

- La composición química de la corteza, madera y hojas, muy especialmente las concentraciones de carbono y nitrógeno de las mismas.
- La eficiencia en el uso del nitrógeno.
- Análisis foliares.
- Las tasas de crecimiento de plantaciones realizadas en el área de estudio.
- Las características y densidades de las maderas.
- Las tasas de transpiración y fotosíntesis.
- El comportamiento de las curvas  $A/c_i$ , en especial los valores de eficiencia fotosintética, los valores de  $A_{max}$ , y las diferencias entre las respuestas fotosintéticas a 600 y a 800 ppm del  $CO_2$  de referencia en el irgaporómetro.

**Características de la fotosíntesis, crecimiento y almacenamiento de carbono en la madera, en las principales especies arbóreas del área de estudio.**

### ***Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell**

1. **Nombres comunes:** majagua; majagua azul (Cuba); cuban bast, mahoe (EEUU); majagua, holó (México); majao (Honduras); blue majoe, cuba bark (Jamaica); majó (Puerto Rico); algodoncillo (Venezuela).
2. **Características botánicas:** Árbol correspondiente a la familia ***Malvaceae*** que puede alcanzar hasta 25 m de altura y diámetros de hasta 80 cm; en condiciones de competencia presenta un fuste recto, libre de ramas hasta considerable altura y cuando crece aislado presenta fustes cortos y ramificados. La corteza es de color blanquecino a carmelita. Sus hojas son simples, alternas redondeadas con base acorazonada, verde mate por el envés y verde brillante por el haz. Sus flores presentan una corola de cinco pétalos de color rojo a anaranjado. Sus frutos son cápsulas ovoides, café amarillentas, tomentosas.





### 3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza

Presenta una madera pesada con un peso específico de  $0.69 \text{ g/cm}^3$ ; el duramen es de color púrpura a azul metálico y la albura blanco opaco; tiene grano recto, textura media y brillo mate; es fácil de trabajar; resistente al ataque de insectos y hongos y tiene alta durabilidad natural (CATIE, 2000).

El contenido de carbono en la madera oscila en un rango de 45,21% a 45,46%, mientras que en la corteza es de 39,54% a 41,44%. Los niveles de contenido de nitrógeno fluctúan entre 0,20% a 0,31% en la madera y 0,67% a 1,08% en la corteza. Aunque puede presentar una media de 46.60% de carbono retenido en la madera, de los cuales 40.58% se localiza en la corteza y 45.29% en la madera; así como un valor medio de 0.80% y 0.25% de nitrógeno retenidos en la corteza y madera respectivamente, aunque en su madera oscila entre 0.095% hasta 0.398%, mientras que en la corteza presenta 0.339% hasta 0.821%, en las hojas se registra 1.362% hasta 2.522%, este último sobre suelos de mal drenaje.

En los suelos donde se encuentra, se retiene entre 12.17 % y 17.55 % de carbono.

#### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

La fuente energética primaria de la fotosíntesis es la luz y ésta es capaz de regular el crecimiento y desarrollo de las plantas así como los aspectos morfológicos de las mismas.

La fotosíntesis es un proceso fisiológico mediante el cual las plantas verdes producen los azúcares para su subsistencia, es decir, es un proceso metabólico que permite a la planta elaborar sus propios alimentos. Para realizar este proceso de forma óptima, el arbusto necesita de una serie de compuestos y nutrientes sobre los cuales influyen una serie de factores como la luz, la temperatura, el agua y la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Este último es considerado el sustrato de la fotosíntesis pues para su efecto, las plantas lo absorben (durante el día) del aire expidiendo el oxígeno del agua, además de estar presente en los productos finales elaborados por el vegetal. Los niveles de  $CO_2$  están aumentando y como la intensidad de la fotosíntesis depende, entre otros aspectos, de su disponibilidad es de esperar que influya sobre éste proceso. Esta especie presenta una eficiencia de carboxilación  $0.0585 \text{ molCO}_2/\text{m/s}$  hasta  $0.0974 \text{ molCO}_2/\text{m/s}$ . La especie ha mostrado una tasa fotosintética de  $12 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  con una temperatura del aire de aproximadamente  $30^\circ \text{C}$ , mostrando un valor medio de  $11.97 (+/-1.10) \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ .

El análisis de la especie reflejó que al igual que el resto de los ejemplares arbóreos estudiados (exceptuando *R. mangle*), a medida que aumentaba la concentración de  $CO_2$ , aumenta la tasa de fotosíntesis hasta un punto donde se alcanza el valor máximo de asimilación. Este punto (Tabla.12), la especie lo adquiere entre  $400 \mu\text{mol/mol}$  a  $500 \mu\text{mol/mol}$  (considerada por Patanisamy y Gupta (2004) como concentraciones medias); a partir de allí, la curva comienza a declinar, indicando que la planta merma la utilización fotosintética del dióxido de carbono, disminuyendo con ello su tasa de crecimiento y por tanto su productividad. (Fig. 10).

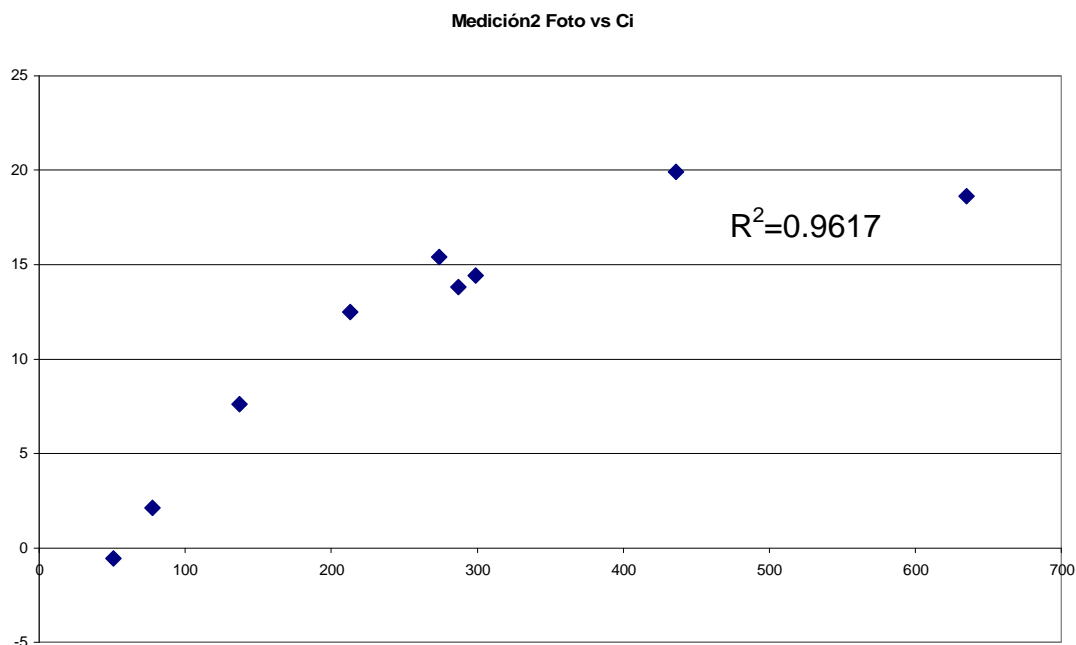


Fig.10. Comportamiento de la fotosíntesis en *T. elatum* al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

Tabla.12. Amax y Resp de cada individuo de la especie *T. elatum*

Individuo	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	11.60	0.0585	-4.190	2.50	Negativa
2	19.90	0.0819	-5.331	4.90	Negativa

Como puede observarse en la Tabla.12, los puntos de emisión no distan entre los individuos; sin embargo, el punto de asimilación difiere entre ellos, pues el individuo 1 es el que más rápidamente deja de utilizar el CO<sub>2</sub> a nivel fotosintético, presentando un menor incremento de fotosíntesis por cada unidad de carbono presente en el interior del mesófilo, lo cual puede explicarse en acuerdo con el criterio dado por Karnosky *et al* (2007) al referir que la respuesta al aumento de la absorción o asimilación se debe al incremento de la absorción luminosa como un resultado de un mayor índice de área foliar y a un aumento de la eficiencia en el uso de la luz.

Además demuestra las aseveraciones dadas por Reichstein (2007) el cual plantea que la fotosíntesis se saturará en un nivel de CO<sub>2</sub> dado, el cual varía con el tipo de planta y el metabolismo fotosintético.

#### **5. Crecimiento.**

La especie a los 7 años de edad (estado brinzal) presenta un crecimiento medio en altura de 5,0 m con 7,0 cm de diámetro; a los 15 años alcanza 16, 0 cm de diámetro con 8 m de altura. En estado adulto, y en plantaciones, ésta especie registra en zonas cenagosas, 30.73 Mg de biomasa de fuste en una hectárea de superficie; mientras que en estado de brinzal cuenta con 1.32 Mg/ha.

#### **6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

En Cuba florece de noviembre a marzo y sus frutos madura entre los meses de febrero a mayo; aunque en algunos lugares se observan frutos maduros en otros meses del año (Hechavarría *et al*, 2000).

Es utilizada en la fabricación de muebles finos, artesanía, objetos torneados, decoración de interiores, escaleras de mano, bates para pelota, lanzas y artículos deportivos. Es una planta melífera y textil, atribuyéndosele a las raíces y corteza propiedades medicinales (CATIE, 2000).

Se distribuye naturalmente en Cuba y Jamaica. Ha sido naturalizada en el sur de la Florida, México, Perú y Brasil. En Puerto Rico e Islas Vírgenes ha sido introducida en plantaciones. Su distribución altitudinal varía de 0 a 11500 m snm, con precipitaciones anuales de 1500 a 3800 mm y temperaturas de 20 °C a 26 °C. Se adapta a una gran variedad de suelos desde calcáreos, calizos y limosos; prefiere los suelos profundos, bien drenados, con buenas condiciones de humedad y alto contenido de materia orgánica, con pH variable entre 6,5 a 7,9 (CATIE, 2000).

Habita de forma natural en las formaciones de bosques semicaducifolio sobre caliza, semicaducifolio sobre suelo ácido asociada con *Juglans insularis*, *Gerascanthus gerascanthoides*, *Prunus occidentalis*, *Calophyllum calaba*, *Buchenavia capitata*, *Nectandra coriacea*, entre otras; en los bosques semicaducifolio sobre suelos de mal drenaje en unión con *Carapa guianensis*, *Juniperus lucayana*, *Bucida buceras*, *Lysiloma latisiliquum*, *Tabebuia angustata*, en pluvisilva y pluvisilva de montaña con *Manilkara albescens*, *Carapa guianensis*, *Talauma minor*, etc (MINAG, 2007). Constituye una especie autóctona de los montes secundarios de bosques semicaducifolio sobre caliza y pluvisilvas cubanos (Bisse, 1988).

### ***Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. ssp *latisiliquum***

1. **Nombres comunes:** soplillo (Cuba); cuban tamarind (EEUU); tzukté, dzalam (México).
2. **Características botánicas:** Árbol correspondiente a la familia **Leguminoseae** que puede alcanzar de 15 a 20 m y diámetros de 60 a 70 cm; con fuste recto que se ramifica desde un 50 % de su altura; copa redondeada. La corteza es de color gris parduzco. Las hojas son compuestas, bipinnadas. Flores en inflorescencias agrupadas o en cabezuelas solitarias. Frutos en forma de vainas, dehiscentes, aplanadas, agudas, morenos oscuras.



### 3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza

La madera es moderadamente pesada a pesada con un peso específico de  $0.59 \text{ g/cm}^3$ , de color café oscuro rojizo, con grano recto y textura media. Es fácil de aserrar y moderadamente difícil de secar.

En cuanto al contenido de carbono en su madera y corteza, la especie presenta valores entre 43,72% - 44,28%, y 44,21% - 45,67% respectivamente; mostrando como valor medio, 45.21 % de carbono retenido en la madera.

Los niveles de nitrógeno en su madera y corteza, fluctúan entre 0,23% - 0,34% y entre 0,23% -1,60% correspondientemente. Presenta un alto contenido de calcio en su corteza al mostrar un contenido medio de  $4.09\% \pm 0.11$  (Fig. 11)

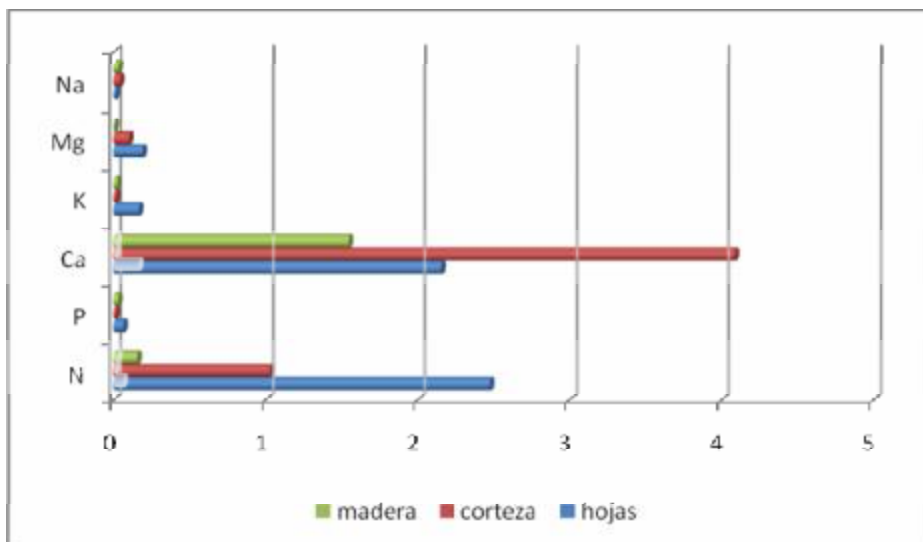


Fig. 11. Composición química de la especie.

### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

Muestra una eficiencia de carboxilación entre  $0.0165 \text{ molCO}_2/\text{m/s}$  hasta  $0.0702 \text{ molCO}_2/\text{m/s}$ .

Entre  $29$  y  $31^\circ\text{C}$  la especie presentó una tendencia a declinar su eficiencia fotosintética, para luego aumentarla a partir de  $31^\circ\text{C}$  alcanzando una eficiencia elevada en  $33^\circ\text{C}$  de temperatura del aire, por lo que se le puede considerar como un espécimen tolerante al incremento de las temperatura: uno de los componentes del CC.

Esta especie mostró un comportamiento diferente entre las muestras o individuos evaluados. En los prototipos 1 y 2 (Fig.12) la tendencia fue lineal, o sea, a medida que aumentaba la concentración de CO<sub>2</sub> en los espacios intercelulares, se incrementaba la asimilación del mismo y con ello la actividad fotosintética de la planta. Sin embargo, en la muestra 3 (Fig.12) no ocurrió así. A partir de los 400 μmol/mol el árbol mostró su asimilación máxima con 13.10 μmolCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s, para posteriormente declinar ésta y con ello la actividad de fotosíntesis a pesar de continuar incrementándose la concentración del gas.

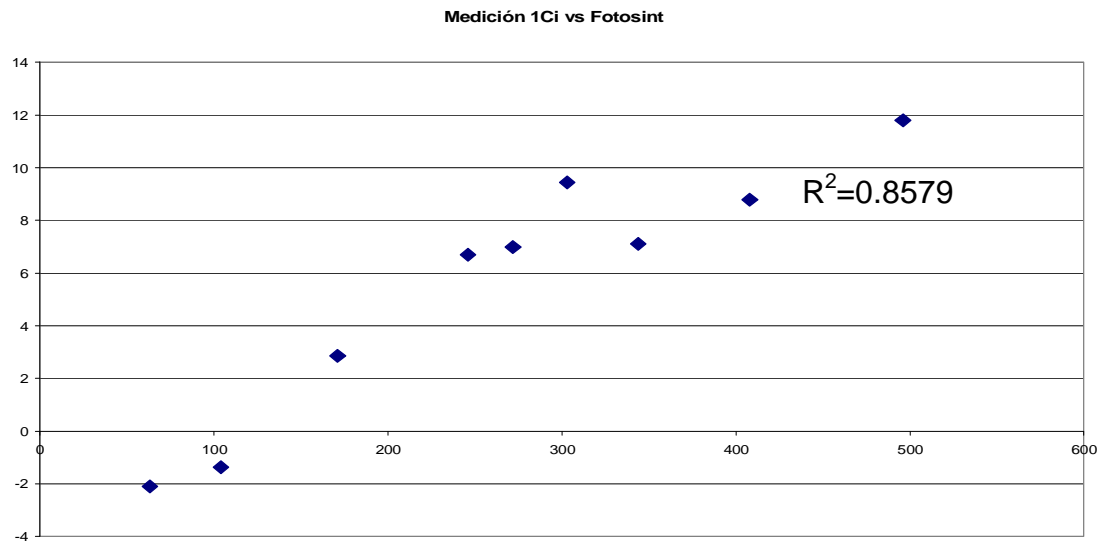


Fig.12. Comportamiento de la fotosíntesis en *L. latisiliquum* (muestra 1) al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

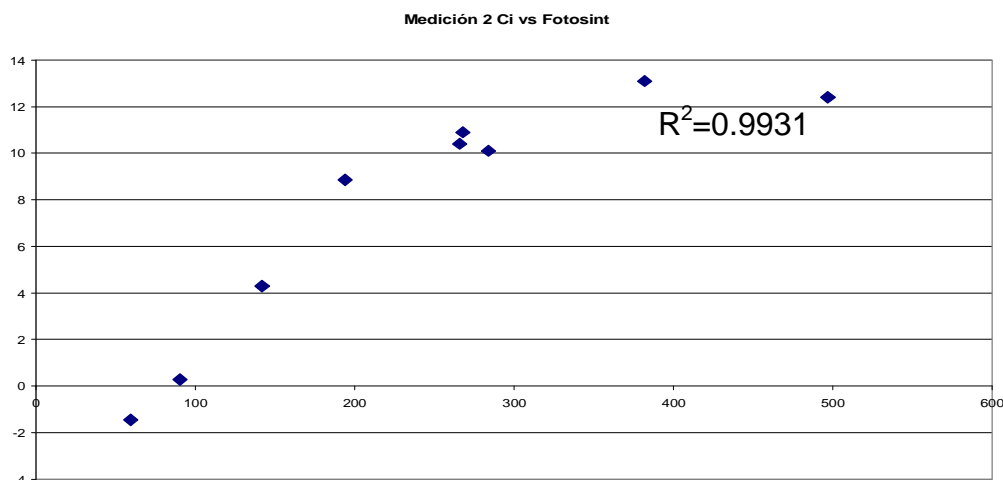


Fig.13. Comportamiento de la fotosíntesis en *L. latisiliquum* (muestra 3) al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

Por tanto, los individuos 1 y 2 muestran mayor posibilidad de sobrevivir, adaptarse, al aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub>.

Esto demuestra que existe variabilidad no solo a nivel interespecífico sino también a escala intraespecífico, constituyendo una base para un futuro programa de mejoramiento genético forestal; derivándose que *L. latisiliquum* es una especie que presenta una amplia variabilidad; por tanto una mayor posibilidad de sobrevivir o adaptarse a los cambios en las condiciones ambientales y que a este individuo puede prolongársele el aprovechamiento silvícola o turno de corta pues soportará concentraciones elevadas y continuará incrementando su biomasa con el aumento de CO<sub>2</sub>.

Tabla.12. Amax y Resp de cada individuo de la especie

	Individuo	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
Lysiloma latisiliquum	1	11.80	-5.563	4.57	Positiva
	2	13.10	-5.797	4.51	Positiva
	3	11.70	-0.6665	3.52	Negativa



Cabe señalar que el manejo silvícola de la misma debe priorizarse en las áreas que se estiman queden totalmente sumergidas por el impacto del aumento del nivel del mar.

#### **5. Crecimiento.**

La especie con 10 años de edad, muestra un crecimiento medio avalado en 12,0 m de altura y 12,0 cm de diámetro. En estado de brinzal, reporta una biomasa de fuste igualada en 2,68 Mg/ha.

Presenta 146.16 Mg/ha de biomasa total en un bosque natural regenerado y con 19 años de edad (Almeida, 2006).

#### **6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

La floración ocurre entre los meses de marzo a junio y sus frutos se producen de agosto a noviembre (CATIE, 2000a).

Es usada para la fabricación de duelas, parquets, chapas decorativas, muebles, mangos para herramientas, implementos agrícolas, gabinetes, construcciones navales, durmientes, canoas y ruedas de carretas. La corteza contiene taninos y se emplea para curtir pieles (CATIE, 2000a).

Se distribuye naturalmente en el sur de la Florida, México, sur de Centro América y las Antillas. Su distribución altitudinal varía de 0 m snm a 400 m snm, con precipitaciones anuales de 1100 a 2000 mm, con temperaturas promedio entre 23 °C y 26°C. Forma parte de los bosques semicaducifolios sobre caliza, así como de los bosques secos próximos a las costas. Prefiere suelos calcáreos con buenas condiciones de drenaje (CATIE, 2000a). Aunque en Cuba se le puede encontrar en los bosques semicaducifolios sobre suelos de mal drenaje, así como en los bosques semicaducifolios sobre caliza mezclada con *Cedrela odorata*, *Swietenia mahagoni*, *Calycophyllum candidissimum*, *Talipariti elatum*, *Gerascanthus gerascanthoides*, etc (MINAG, 2007), así como formando rodales puros, siendo una especie autóctona de los montes secos cubanos (Bisse, 1988).

## ***Rhizophora mangle* L.**

1. **Nombres comunes:** mangle rojo (Cuba, Costa Rica); mangle colorado (Honduras); mangle salado (Panamá); candelín, mangle dulce (México); mangle caballero, mangle gateador (Colombia); purgua (Venezuela), apareaba, mangle zapatero (Brasil).
2. **Características botánicas:** Es una de las especies propias de la formación manglar del trópico. Pertenece a la familia ***Rhizophoreaceae*** y puede alcanzar de 25 a 30 m de altura y de 60 a 100 cm de diámetro. Tiene raíces fulcreas que se arquean desde el tronco y se ramifican para formar dos o más raíces que a su vez pueden repetir este proceso, siendo su función principal la de promover la aireación. La corteza es rojiza con un ligero sabor amargo y contiene de 15 a 35 porciento de su peso en taninos, 85.76 % de materia sólida, 34.21% de materia extraíble total, 32.50 % de materia extraíble soluble, 1.71 % de materia extraíble insoluble, 5.83 % de material no curtiente, 4.57 % de taninos en materia no curtiente, 84.06 % de pureza. Las hojas son simples, opuestas. Flores de color amarillo a blanco amarillento.



### 3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza

La madera es excesivamente pesada, con un peso específico de  $0.84 \text{ g/cm}^3$ , la albura es de color anaranjado y el duramen pardo rojizo. Tiene grano recto, textura de mediana a fina, lustre escaso y poros apenas visibles. Es difícil de trabajar y preservar, su secado es lento (CATIE, 1998).

### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

Muestra una eficiencia de carboxilación entre  $0.0288 \text{ molCO}_2/\text{m/s}$  hasta  $0.0398 \text{ molCO}_2/\text{m/s}$ .

Este ejemplar arbóreo a diferencia de *L. latisiliquum* mostró una tendencia a incrementar su eficiencia fotosintética a pesar del aumento de la temperatura del aire, alcanzado una eficiencia máxima ( $14 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) a  $35^\circ\text{C}$  aproximadamente.

Al analizar el comportamiento de esta especie (Fig.14) frente al incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$ , se observa (en las tres muestras o individuos) la utilización fotosintética del gas a medida que aumentan sus niveles, mostrando un rango de asimilación máxima de  $13.8 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  a  $14.1 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  cercano a los  $700 \mu\text{mol/mol}$  y con una tendencia a continuar aumentando la tasa de fotosíntesis, lo cual indica que la especie a elevadas concentraciones del gas, continua produciendo biomasa y por tanto, no sufrirá impactos negativos por el incremento de carbono.

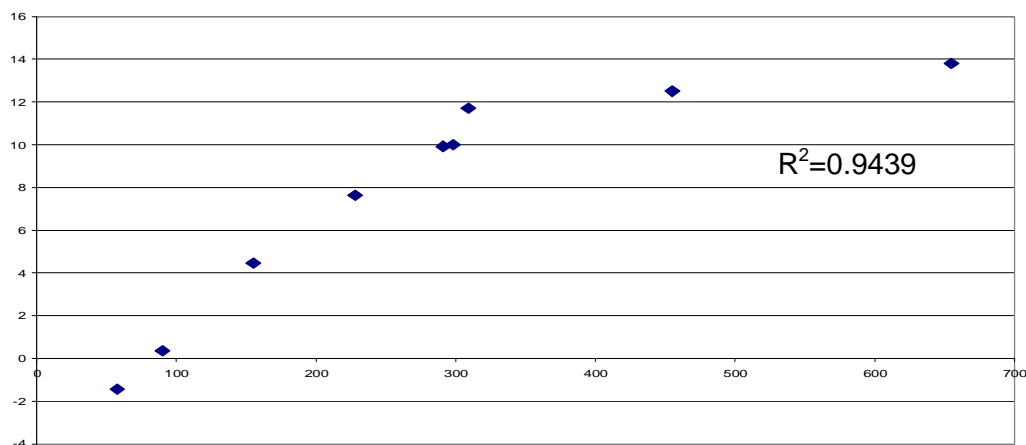


Fig.14. Comportamiento de la fotosíntesis en *R. mangle* al aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo.

El resultado mostrado por esta especie concuerda con la referencia dada por Karnosky *et al* (2007) sobre que muchos árboles no son saturados a elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico, y por tanto se predice que la tasa de carbono en los árboles boscosos aumentará, entendiéndose una mayor productividad de los bosques tanto como continúe incrementándose las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico. Estudios recientes han sugerido que los efectos de CO<sub>2</sub> elevado sobre la productividad de los bosques no son realmente predecibles y pueden variar ampliamente dependiendo de la especie. Aseverando con ello, los planteamientos de Reichstein (2007) al referir que el aumento de los niveles de dióxido de carbono, tendrán un efecto particular sobre la fotosíntesis, propiciando un incremento de la productividad de las plantas y por tanto en la cantidad de carbono adicionado posteriormente al suelo.

A ello si se le suma su preponderancia al aumento del nivel del mar, se puede aseverar que es una especie de considerable subsistencia frente a los impactos del cambio climático.

A continuación, en la siguiente tabla, se observan la asimilación máxima (Amax) y el punto donde se inicia la respiración (Resp: donde ocurre emisión hasta llegar la punto de compensación) de cada una de las muestras o individuos.

Tabla.10. Amax y Resp de cada individuo de la especie *R. mangle*.

Individuo	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	13.8	0.0506	-6.80	5.30	Positiva
2	14.1	0.0753	-9.60	4.23	Positiva
3	13.8	0.0590	-9.45	5.63	Positiva

Como se puede apreciar, en la tabla anteriormente expuesta, el segundo individuo, mostró una mayor, aunque no una diferencia significativa, incremento de fotosíntesis por unidad de carbono presente en el mesófilo.

La situación dada con esta especie, es también reportada por FAO (1996) en un estudio realizado con la soja (*Soybean*) una leguminosa, donde se denotó que la misma no pierde su capacidad fotosintética frente al incremento de dióxido de carbono.

Sin embargo, estos resultados mostrados por la especie *R. mangle*, distan de aquellos alcanzados en el estudio realizado por Gómez (2009) en la localidad Rancho Luna, provincia Cienfuegos, Cuba sobre suelos Rendzina Roja típica sobre caliza dura, con un promedio de precipitación media anual entre 972 mm a 1080 mm y temperaturas que oscilan entre 18°C a 28 °C (mes más frío) hasta 26°C – 32°C (mes más caliente), donde la especie mostró variabilidad intraespecífica difiriendo así su comportamiento en ambas regiones y es que cada fenotipo está influenciado por su constitución genética y el ambiente en el cual habita. Dicha variabilidad (Fig. 15 y 16) se refleja en que los individuos 1 y 2 muestran una curva de fotosíntesis negativa, o sea, a medida que incrementa la concentración de CO<sub>2</sub> la fotosíntesis merma; no ocurriendo así en el individuo 3 donde éste proceso fisiológico ofreció una curva positiva (tendencia a incrementar la fotosíntesis a medida que aumenta la concentración del gas).

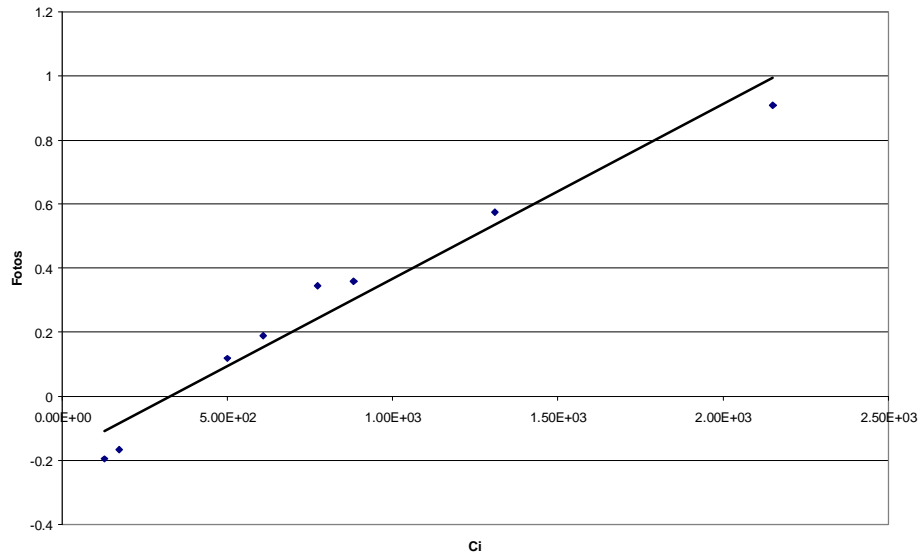


Fig. 15. Comportamiento de la especie *R. mangle* (muestra 3) en la localidad *Rancho Luna*, Cienfuegos.

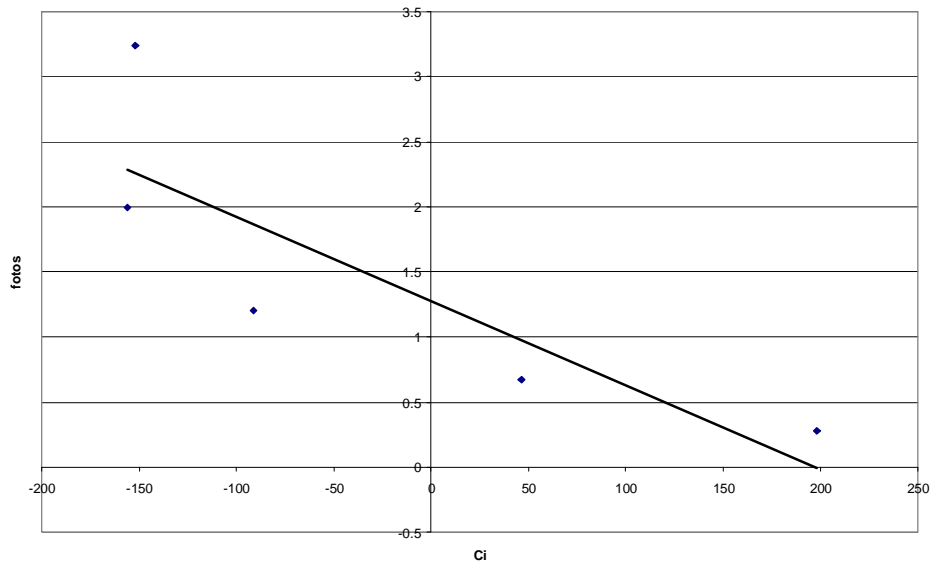


Fig. 16. Comportamiento de la especie *R. mangle* (muestra 1 y 2) en la localidad *Rancho Luna*, Cienfuegos.

Esto confirma los planteamientos referidos por Azcón- Bieto *et al* (2003) los cuales señalan que los incrementos de fotosíntesis no se dan de forma idéntica en todas las plantas.

## **5. Crecimiento.**

La especie alcanza a los 7 años de edad 6,0 m de altura con 8,5 cm de diámetro; 15,2 m y 12,5 cm a los 16 años de edad. Además exhibe como biomasa de fuste 27,72 Mg/ha en plantaciones y estado fustal, mientras que en período brinzal muestra 0,87 Mg/ha de biomasa en el fuste.

## **6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

La floración es irregular, con picos de acuerdo con los patrones locales, alcanza su madurez a partir del cuarto año de vida; su fructificación suele ocurrir a lo largo del año en su rango de distribución natural (CATIE; 1998).

Se utiliza en la fabricación de muebles finos, ebanistería, parquets, postes para cerca, botes y puentes. La leña es excelente, y como carbón, arde pareja y sin chispas (CATIE; 1998). La población en Cuba utiliza el cocimiento de su corteza como astringente y para la contención de hemorragias pulmonares. Se aplica para las afecciones de la piel, como úlceras y lepra. Por su carácter astringente, es beneficioso para las úlceras gástricas. Se le considera un hemostático y febrífugo muy importante (IES, 1999).

La especie se encuentra en los trópicos y subtrópicos, siendo nativo del sur de la Florida, México, América Central hasta Ecuador, Perú y Brasil (CATIE; 1998).

Es una especie autóctona de los manglares cubanos (Bisse, 1988).

Se desarrolla en terrenos anegados por agua marina y las corrientes asociadas a escorrentía de agua dulce y de lluvia. Las condiciones más favorables para su desarrollo se dan en las bahías donde los ríos desembocan con tranquilidad, prefiriendo las aguas poco profundas y planicies fangosas de marea. Prefiere suelos alcalinos (IES, 1999).

### ***Calophyllum calaba* L.**

1. **Nombres comunes:** ocuje (Cuba); barí, leche María, barillo (México); santa María, palo María, jaca (América Central); bare, barilla (R. Dominicana); alfaro (Perú).
2. **Catcterísticas botánicas:** Árbol de la familia **Clusiaceae** de 40 a 45 m de altura y hasta 180 cm de diámetro; copa redondeada, follaje verde oscuro y denso, con ramas ascendentes, fuste recto y cilíndrico. La corteza es grisácea, áspera, dura. Hojas simples, enteras, opuestas. Inflorescencias en panículas axilares. Los frutos son drupas, ovoides, verde amarillentas en la madurez, de olor fragante con buen abundante látex amarillento, contienen una sola semilla de color blanco.



### 3. **Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza**

La madera es dura, pesada a moderadamente pesada, con un peso específico de 0,45 a 0,60 g/cm<sup>3</sup>, aunque según estudios realizados por Ibáñez *et al* (2000) es de 0,90 g/cm<sup>3</sup>. Presenta una textura media y alta durabilidad natural. Es fácil de secar y moderadamente difícil de aserrar. Presenta 48.75 % de carbono retenido en la madera.



#### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

Muestra una eficiencia de carboxilación de  $0.0446 \text{ molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ . Este espécimen mostró una curva ascendente en asimilación fotosintética a partir de los  $34^\circ \text{C}$  de temperatura del aire. Como se muestra en la Fig.17, ésta especie en  $3.763 \text{ } \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  está emitiendo dióxido de carbono al ocurrir el proceso respiratorio, identificado como zona **A** y que se denotó en todas las especies (zona que se debe tener en consideración pues según Azcón-Bieto *et al* (2003) la respiración de la planta entera retorna a la atmósfera entre 40% y 50% de  $\text{CO}_2$  asimilado por la fotosíntesis) hasta alcanzar el punto de compensación cercano a los  $100 \text{ } \mu\text{mol}/\text{mol}$  de concentración de  $\text{CO}_2$ .

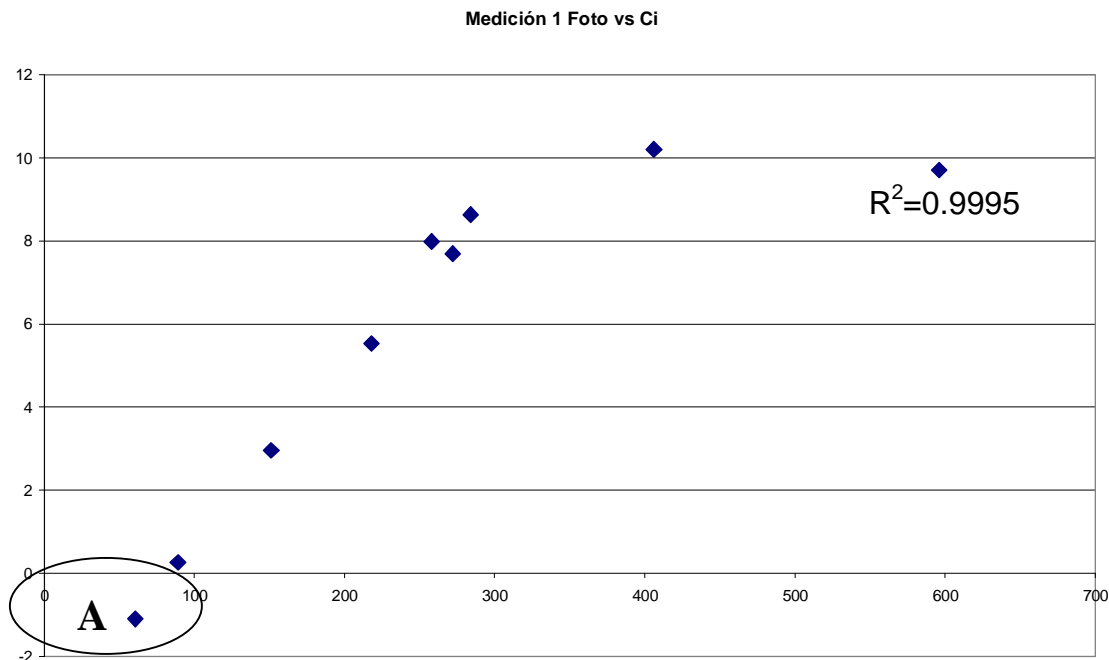


Fig.17. Comportamiento de la fotosíntesis en *C. calaba* al aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo.

En la primera parte de la curva, se puede apreciar como este ejemplar arbóreo utiliza fotosintéticamente el dióxido de carbono a medida que aumenta los niveles del mismo, lo cual constituye un indicador de una mayor actividad carboxilasa de la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco) encargada de accionar sobre la fijación del carbono atmosférico por los cloroplastos lo cual expresa la utilización fotosintética de

CO<sub>2</sub>. Aspecto observado en la figura 18 y evidenciado en las restantes especies estudiadas:

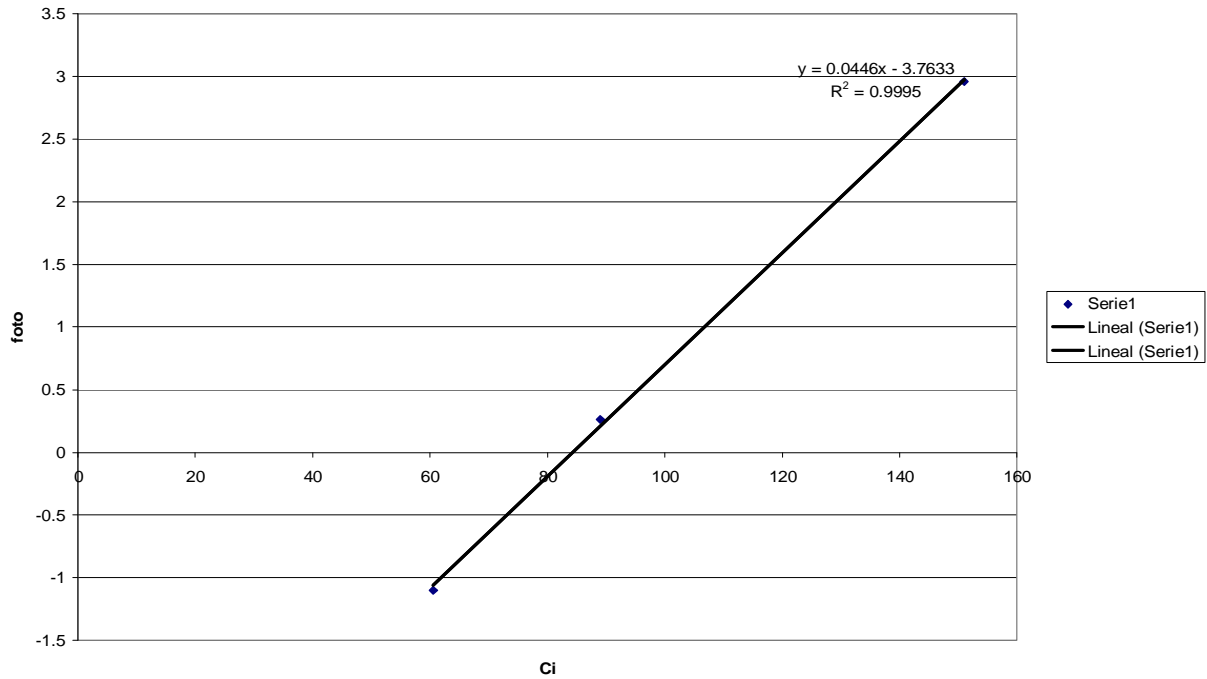


Fig.18. Comportamiento en la primera parte de la curva de fotosíntesis de la especie *C. calaba*.

La especie alcanzó una asimilación máxima de 10.20 μmolCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s para una eficiencia fotosintética con valor de 0.0446 en 400 μmol/mol de concentración de carbono, saturándose la planta y con ello, a pesar que continua incrementándose los niveles del gas, disminuye la tasa de fotosíntesis (segunda parte de la curva), lo cual asevera lo planteado por Azcón-Bieto *et al* (2003) al referir que la tasa de fotosíntesis en las plantas C<sub>3</sub> es sensible a las variaciones de CO<sub>2</sub>.

Lo acontecido en la segunda sección de la curva mostrada en la Fig.17, demuestra que las plantas, según Reichstein (2007), crecen y responden más fuerte a un CO<sub>2</sub> elevado pero no siempre dando que el incremento de este gas, aumentará la productividad de la planta.

## 5. Crecimiento.

La especie alcanza 7,0 m de altura y 10,0 cm de diámetro a los 8 años de edad; 17,0 m con 22,0 cm con 29 años.

Cuenta con 107,80 Mg/ha de biomasa de fuste en estado de fustal y 2,94 Mg/ha de biomasa de fuste en período brinzal. Presenta 75.56 Mg/ha de biomasa en un bosque natural regenerado y con 19 años de edad (Almeida, 2006).

## 6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

La especie produce flores cada año. La mayor floración ocurre en gran parte de su ámbito geográfico entre junio a julio, aunque estudios fenológicos han arrojado que en Cuba ocurre entre los meses de mayo a agosto. La producción de frutos es anual y se inicia cuando el árbol tiene aproximadamente cinco años de edad. En Cuba esta ocurre entre los meses de mayo a septiembre, siendo este último mes el óptimo para la cosecha (Hechavarría, 1999).

Se usa en la fabricación de gabinetes, muebles finos, pisos, mástiles para barcos, postes, carpintería en general y pulpa para papel. El látex de su tronco tiene aplicaciones medicinales (CATIE; 1999c)

Se distribuye desde el sur de México a través de América Central y las Antillas hasta el norte de América del Sur. Se encuentra desde el nivel del mar hasta 1500 m de altitud, en zonas con precipitaciones de 1800 a 3500 mm y temperaturas de 24 °C a 28 °C. Crece bien las faldas de pequeñas colinas con suelos aluviales, arcillosos, muy húmedos o saturados de agua, y ácidos (pH 4,5 a 6,0) (CATIE; 1999c).

En Cuba se le puede encontrar en los bosques semicaducifolios sobre suelo ácido con *Talipariti elatum* (Sw.), *Junglans insularis*, *Gerascanthus gerascanthoides*; en semicaducifolios sobre suelos de mal drenaje en unión a *T. elatum*, *Bucida buceras*, *L. latisiliquum*, *Andira inermis*; semicaducifolios sobre caliza conjuntamente con *C. odorata*, *S. mahagoni*, *C. candidissimum*; pluvisilvas y pluvisilvas de montaña asociada

con *Manilkara albescens*, *T. elatum*, *Carapa guianensis* (MINAG, 2007), siendo una especie autóctona de los montes semicaducifolios sobre caliza cubanos (Bisse, 1988).

### ***Bursera simaruba* (L.) Sargent**

1. **Nombres comunes:** almácigo (Cuba); indio desnudo (Honduras); palo mulato, palo de incienso (Nicaragua); jiñote, almácigo (Costa Rica); jote, palo retinto, zongolica (México).
2. **Características botánicas:** Árbol perteneciente a la familia ***Burseraceae*** que alcanza de 20 a 30 m de altura y hasta 100 cm de diámetro. Presenta copa amplia e irregular; fuste recto cilíndrico que generalmente se bifurca a dos metros de altura. Cuenta con una corteza externa muy escamosa, que varía de color (desde rojo a verde pardo), con escamas papiraceas, casi transparentes, de color rojizo. Hojas compuestas, imparipinnadas; flores pequeñas y fruto en forma de cápsula (CATIE, 1999d), éste es comúnmente visitado y apetecido por las aves (Graham. et al, 2002). La madera es de color blancuzco a café claro.



3. **Densidad y concentraciones de C, N y otros elementos esenciales en madera, corteza y madera.**

Su madera es blanda y liviana con un peso específico de 0,29 a 0,37 g/cm<sup>3</sup>, grano recto, textura fina y lustre bajo. Es fácil de trabajar y pulir, tiene baja durabilidad natural y es muy susceptible al ataque de termitas y otros insectos.

La especie presenta 44,44% a 44,66% de contenido de carbono en su madera, así como, 41,38% -43,28% de carbono retenido en su corteza; aunque puede mostrar como media 45,53 % de carbono. Con relación al contenido de nitrógeno, éste ejemplar, ostenta valores entre 0,37% a 0,51% en la madera, exhibiendo en su corteza 0,61% a 1,01% respectivamente, siendo el calcio el elemento de mayor presencia, sobre todo en la corteza con un valor medio de 6.46% (Fig.19 ).

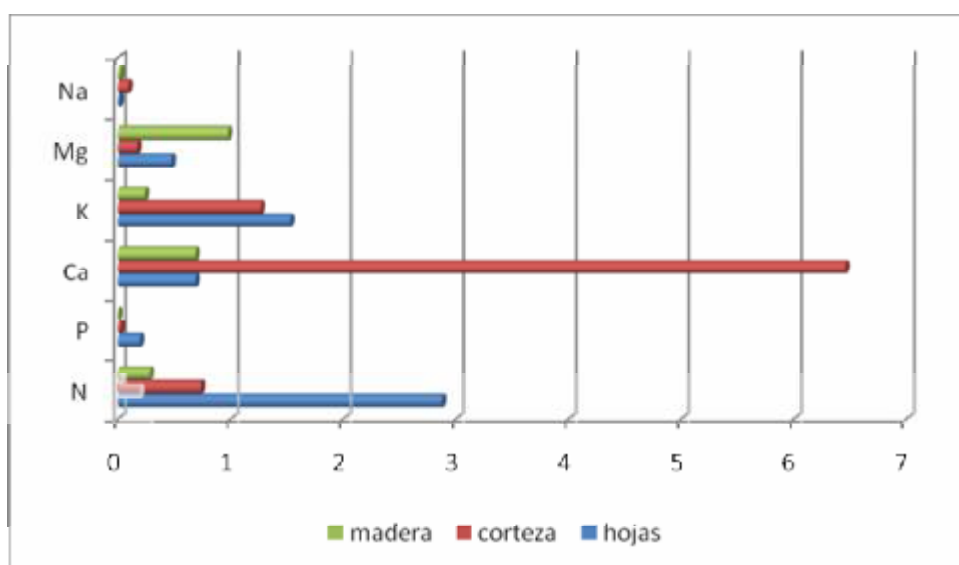


Fig. 19. Composición química de la especie.

#### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

Muestra una eficiencia de carboxilación entre 0.0374 molCO<sub>2</sub>/m/s hasta 0.0587 molCO<sub>2</sub>/m/s.

Como se muestra en la Fig.20, la especie tuvo un comportamiento similar a *C. calaba* a medida que aumenta la concentración de dióxido de carbono en los espacios aéreos intercelulares, aumenta la tasa de fotosíntesis o asimilación del gas entre 350 µmol/mol hasta 400 µmol/mol de concentración de CO<sub>2</sub> (concentración baja), donde el ejemplar arbóreo alcanzó su punto de asimilación máxima; de lo cual se infiere que al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub>, la planta merma la producción de azúcares, declinando la fotosíntesis y con ello la producción de biomasa, disminuyendo la tasa de crecimiento y por tanto su productividad.

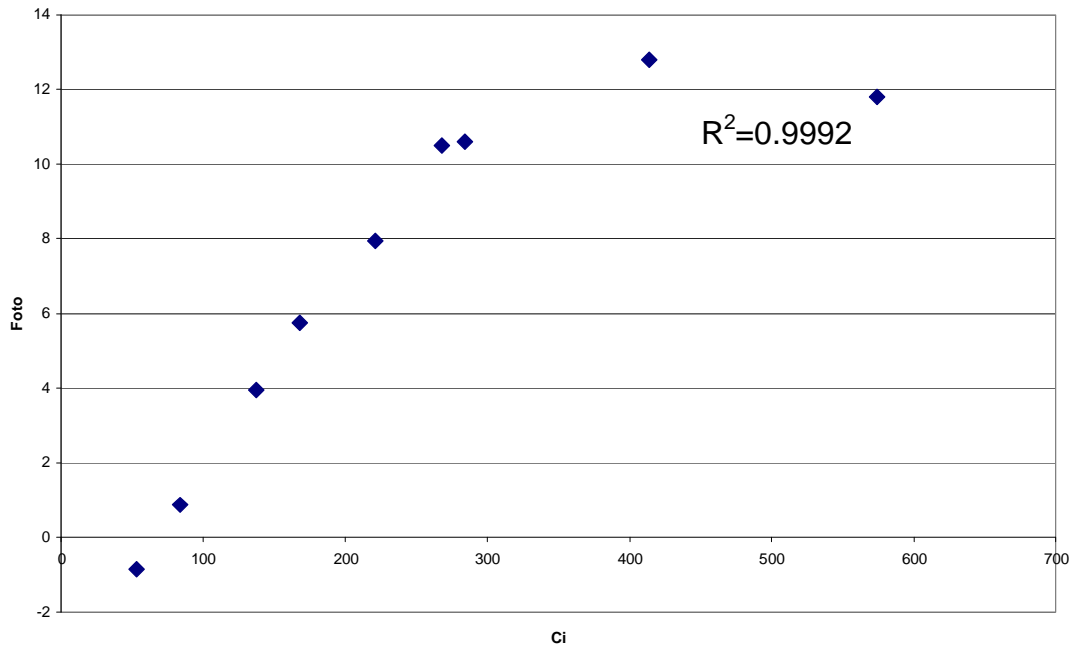


Fig.20. Comportamiento de la fotosíntesis en *B. simaruba* al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

Este incremento de la asimilación de CO<sub>2</sub> en el primer tramo de la curva, con el respectivo aumento de la fotosíntesis también está marcadamente influenciado por la intensidad luminosa, aspecto evidenciado en la Figura 20, corroborando los criterios defendidos por Karnosky *et al* (2007) al referir que la respuesta al aumento de la absorción o asimilación se debe al incremento de la absorción luminosa.

La especie muestra un punto de inicio de la respiración entre 2.997  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  a 4.280  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ , puntos donde se inicia la emisión de carbono hasta alcanzar el punto de compensación.

A continuación en la tabla.11 se observan los valores obtenidos por cada muestra.

Tabla.11. Amax y Resp de cada individuo de la especie *B. simaruba*.

Individuo	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	12.80	0.0641	-3.950	4.05	Negativa
2	11.50	0.0574	-4.280	3.25	Negativa
3	10.50	0.0411	-2.997	3.11	Negativa

### 5. Crecimiento.

Presenta 6,0 m de altura y 8,0 cm de diámetro a los 6 años de edad, alcanzando a los 16 años, 9,0 m de altura con 20,0 cm de diámetro.

Registra 72.56 Mg/ha de biomasa total en un bosque natural regenerado y con 19 años de edad (Almeida, 2006).

### 6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

La floración ocurre entre febrero y agosto, mientras que fructifica de mayo a agosto, aunque en algunos lugares como en Guisa, provincia Granma, Cuba, suele extenderse hasta noviembre. En Cuba la época de recolección abarca de abril a julio e incluso noviembre según la localidad (Hechavarría, 1999).

La madera se usa en muebles, cajones, construcciones interiores, pulpa para papel y chapas. La resina de su fuste es utilizada como sustituto de la goma arábiga y tiene propiedades medicinales (CATIE, 1999d).

Se distribuye naturalmente desde el sur de México a través de América Central y las Antillas hasta el norte de América del sur. La altitud varía de 500 m snm hasta 1400 m snm con precipitaciones anuales de 800 a 3000 mm y temperaturas de 18 °C a 27 °C. La especie es común en bosques caducifolios, requiere de climas subtropicales y tropicales; puede adaptarse a una gran variedad de suelos incluyendo calizos y rocosos. Tolerancia a la sequía, el viento, la salinidad y crece bien tanto en terrenos llanos como en laderas escarpadas (CATIE, 1999d).

En Cuba forma parte de las formaciones boscosas semicaducifolias sobre caliza (con *C. odorata*, *S. mahagoni*, *C. candidissimum*, *Gymnanthes lucida*), semicaducifolia sobre mal drenaje (mezclada con *A. inermis*, *Rheedia aristata*, *Fraxinus cubensis*), semicaducifolia sobre suelos ácidos (en unión a *J. insularis*, *C. calaba*, *Genipa americana*, etc) y pluvisilvas unida con *Zuelania guidonia*, *T. minor*, *Sideroxylon foetidissimum* (MINAG, 2007), constituyendo una especie autóctona de los montes semicaducifolios sobre caliza cubanos (Bisse, 1988).

### ***Caesalpinia violacea* (Mill.) Standl.**

1. **Nombre común:** yarúa (Cuba).
2. **Características botánicas:** Árbol grande, perteneciente a la familia ***Cesalpiniaceae***, presenta una copa irregular y poco densa. Puede alcanzar 18 m de altura y producir bolos limpios de aproximadamente 1 m de diámetro, hojas bicompuestas grandes, con foliolos ovales. La corteza es delgada, de color gris claro. Los árboles longevos no se reproducen por renuevos de cepa. Florece en abril. Las flores son parecidas a las de *Hebestigma cubensis* (frijolillo) en racimos de color rosado o lila. Madura sus frutos en agosto y septiembre. El fruto es una legumbre aplanada, seca y blanda que contiene 6 a 10 simientes grandes, planas y muy duras. Los frutos secos no se abren ni se desprenden fácilmente del árbol por lo que deben recolectarse directamente del árbol; la semilla no es atacada por ningún insecto (Fors, 1967). Se reproduce por semillas, se puede establecer por siembra directa en suelos rojos pedregosos. La madera es muy valiosa. Su color varía entre amarillo rojizo anaranjado y rojo.





### 3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza.

Su madera es dura, con una densidad de  $0,88 \text{ g/cm}^3$ , pesada y muy resistente, difícil de trabajar. Resiste la humedad del suelo y ataques de insectos (Fors, 1967). Retiene un 50.10% de carbono en su madera.

### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

En esta especie, al igual que en la mayoría anteriormente citada, la relación entre la fotosíntesis y la concentración de dióxido de carbono fue directamente proporcional hasta una concentración entre  $400 \text{ } \mu\text{mol/mol}$  y  $600 \text{ } \mu\text{mol/mol}$ , a partir de éste último valor, la asimilación o fotosíntesis presentó un ligero aumento en un individuo (Fig.21), por consiguiente en concentraciones inferiores la utilización fotosintética de  $\text{CO}_2$  es más rápida y por ende su producción de biomasa, trayendo consigo que su tasa de crecimiento aumente y por ende su productividad. En los prototipos 2 y 3 la tendencia fue decrecer su asimilación y por tanto su tasa de crecimiento, producción de biomasa y productividad. Siendo una especie que también muestra una variabilidad intraespecífica (Fig.22).

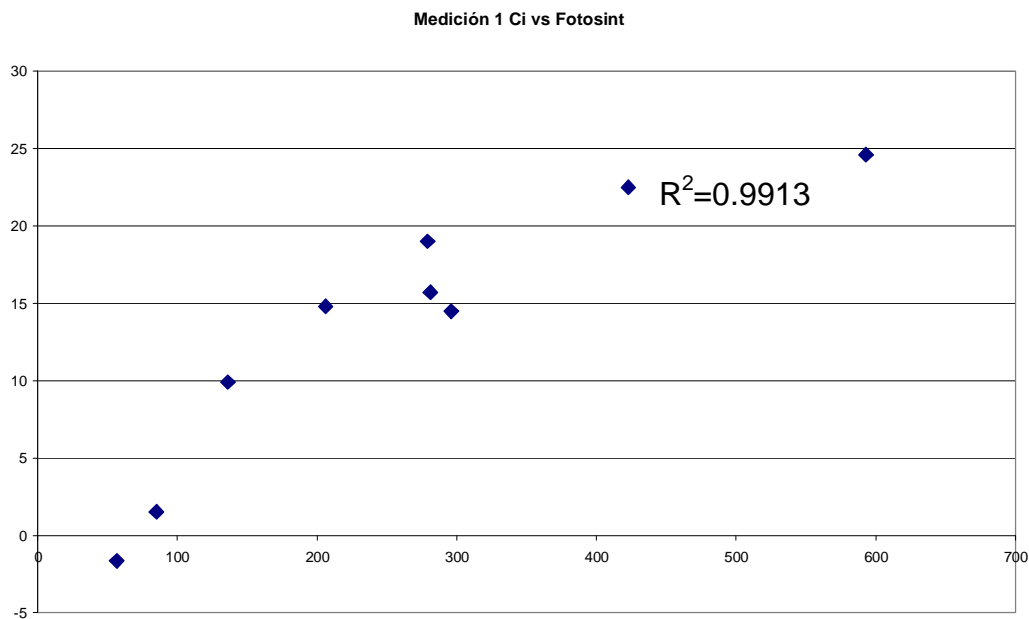


Fig.21. Comportamiento de la fotosíntesis en *C. violacea* (muestra 1) al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

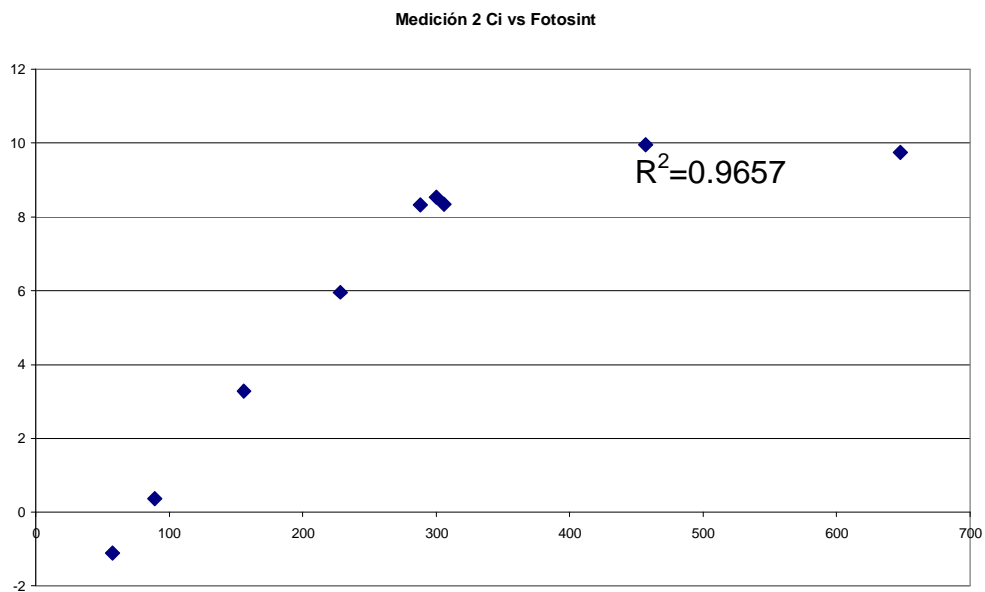


Fig.22. Comportamiento de la fotosíntesis en *C. violacea* (muestra 2 y 3) al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

La especie muestra un punto de inicio de la respiración entre  $3.630 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  a  $10.403 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ , puntos donde se inicia la emisión de carbono hasta alcanzar el punto de compensación.

A continuación en la tabla.12 se observan los valores obtenidos por cada muestra.

Tabla.12. Amax y Resp de cada individuo de la especie *B. simaruba*.

Individuo	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	22.5	0.1476	-10.403	6.45	Positiva
2	9.96	0.0444	-3.630	4.43	Negativa
3	16.9	0.0899	-6.113	3.84	Negativa*

\*aunque muestra una curva ligeramente constante.

## 5. Crecimiento.

Muestra con 5 años de edad 2,61 m de altura con 2,26 cm de diámetro; 12,0 m con 16,0 cm de diámetro a los 14 años. En período brinzal y fustal, exhibe, 3,17 Mg/ha y 521,80 Mg/ha de biomasa de fuste.

## 6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

Se emplea en construcciones que necesiten madera muy resistente como postes, marcos de puertas, ejes de carros, travesaños, radios de ruedas de carros pesados. (Fors, 1967).

En Cuba habita sobre los bosques semicaducifolios sobre caliza asociada con *Poeppigia procera*, *C. odorata*, *S. mahagoni*, *G. gerascanthoides*, etc (MINAG, 2007) siendo una especie autóctona (Bisse, 1988).

## ***Bucida buceras* L.**

1. **Nombre común:** júcaro (Cuba).
2. **Características botánicas:** Árbol de tamaño mediano, perteneciente a la familia ***Combretaceae*** que puede alcanzar 14-15 m y hasta 25 m de altura y unos 60 cm o 1 m de diámetro. Presenta una corteza gris. Hojas pequeñas verticiladas, pubescentes las cuales se amontonan en los extremos de las ramas y presentan una forma elíptica, estrechas hacia la base. Sus flores se presentan en espigas, delgadas, sin pétalos; el fruto es una drupa cónica-ovoide, ligeramente recurvada que contiene 1 o 2 semillas pubescentes, cuando el fruto se encuentra seco gotea fácilmente. Su madera es muy apreciada y valiosa, de color amarillo pardo, casi negro en el duramen cuando es un árbol longevo (CATIE, 2001).



3. **Densidad maderable.**

Su madera es dura e incorruptible, con una densidad de 0,659 g/cm<sup>3</sup> (CATIE, 2001).

4. **Transpiración, fotosíntesis y curvas  $A/c_i$**

Presenta una eficiencia fotosintética entre 0.0816 molCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s hasta 0.1041 molCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s, así como

Tabla.13. Amax y Resp de cada individuo por especie.

Indiv.	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	10.00	0.0816	-10.403	2.36	Positiva
2	18.50	0.1041	-3.630	4.73	Positiva
3	10.30	0.0756	-6.113	3.35	Negativa *

\*aunque muestra una curva ligeramente constante.

Esta especie, la cual representa en volumen el segundo ejemplar en importancia para la Empresa, al igual que *L. latisiliquum* y *C. peltata*, presentó variabilidad a escala intraespecífica. Como se muestra en la Fig. 23, la tendencia es seguir aumentando la actividad de fotosíntesis y con ello la producción de biomasa e incremento de la tasa de crecimiento a medida que se incrementa la concentración de dióxido de carbono, mostrando así, una capacidad para tolerar concentraciones elevadas del GEI.

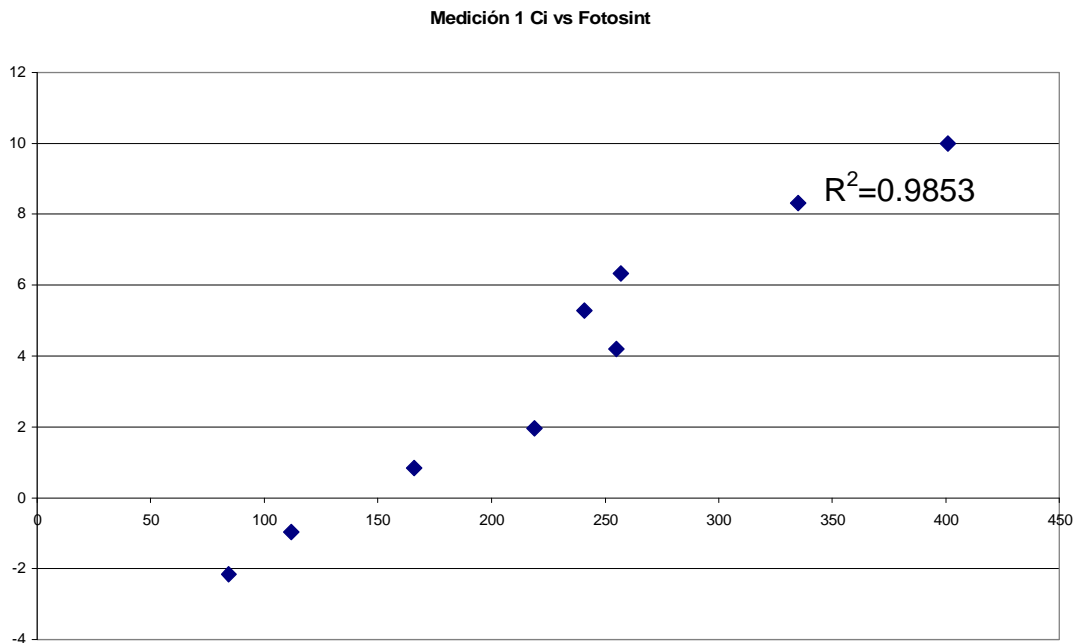


Fig.23. Comportamiento de la fotosíntesis en *B. buceras* (muestra 1) al aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo.

Sin embargo, en la muestra 3 (Fig.24) se puede apreciar que el incremento de la asimilación de CO<sub>2</sub> ocurre mayormente hasta 250 μmol/mol para posteriormente, mantenerse casi constante, implicando una *inmovilización* de su crecimiento o aporte de biomasa por lo que es de esperar que este individuo no soporte elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>.

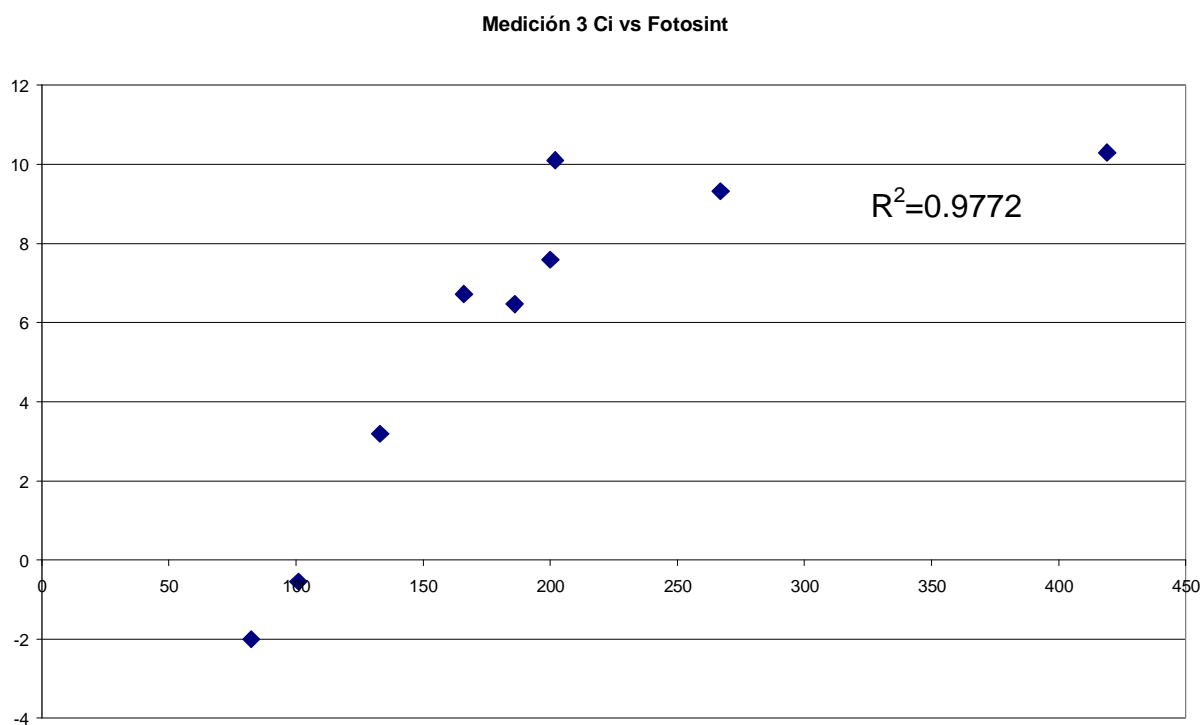


Fig.24. Comportamiento de la fotosíntesis en *B. buceras* (muestra 3) al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

Por lo tanto, *B. buceras*, muestra ser una especie con posibilidades de adaptarse y sobrevivir al incremento de CO<sub>2</sub>.

## 5. Crecimiento.

La especie alcanza en su estado adulto un crecimiento medio en altura de 10,0 m con 90,0 cm de diámetro.

## 6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

Florece en abril y sus frutos maduran entre julio a septiembre.

Es una especie muy estimada para obras bajo el agua y en contacto con la tierra como son muelles, traviesas de ferrocarril, postes, pilotes, construcciones pesadas; suministra un carbón excelente. Se puede reproducir por renuevos de cepa (Fors, 1967).

Habita en las costas, terrenos bajos del interior, ríos y costaneras de ciénagas, pero el mejor ejemplar se encuentra donde el suelo va teniendo altura y drenaje, en la transición de la tierra baja a la alta donde comienza a mezclarse con otras especies como caobas, robles, jaguas, caimitillos, ocujes, majaguas, etc.

Es un árbol de sol y hábitos gregarios (Fors, 1967).

En Cuba se le encuentra en bosques semicaducifolios sobre mal drenaje integrada con *T. elatum*, *F. cubensis*, *Bursera simaruba*, *Juniperus lucayana*, entre otras (MINAG, 2007) y constituye una especie autóctona (Bisse, 1988).

### ***Terminalia catappa* L.**

1. **Nombre común:** almendro (Cuba, República Dominicana, Colombia); badam (India); almendro y alcornoque (Costa Rica); almendro de la India (El Salvador); castaña (Perú); West-Indian- almond (Estados Unidos); Bombay white (Inglaterra)
2. **Características botánicas.** Árbol de tamaño mediano, perteneciente a la familia **Combretaceae** que puede alcanzar de 15 m a 20 m de altura y de 70 cm a 80 cm de diámetro. Presenta un fuste recto y ramas extendidas, casi horizontales; una corteza algo lisa y fisurada, ramillas robustas y lampiñas; copa amplia y redondeada, en especial si los árboles están muy espaciados. Hojas simples, subcoriáceas, de color verde oscuro brillante en el haz, verde pálido y pubescentes en el envés. En Cuba estos árboles son deciduos y las hojas se tornan rojizas antes de caerse. Inflorescencias en espigas; flores pequeñas, hermafroditas. El fruto es una drupa comprimida, dentro del cual existe una nuez, comestible por el hombre, ya sea cruda o asada; éste es recolectado al pie del árbol. Su madera es de color pardo oscuro uniforme, sin

marcada diferenciación entre la albura y el duramen, el cual ocupa la mayor parte del tronco, presenta anillos de crecimiento visibles a simple vista; no posee lustre apreciable ni olor característico y tiene un sabor amargo (Betancourt, 2000).



### 3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza.

Muestra una densidad maderable de  $0,65 \text{ g/cm}^3$ , es muy susceptible a los ataques de termitas que atacan la madera una vez seca (Betancourt, 2000), aunque Fors (1965) informa que esta madera tiene un peso específico de  $0.612 \text{ g/cm}^3$  y que si se emplea para trabajos a la intemperie debe ser sometida a tratamientos con sustancias preservadoras.

### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

Esta especie no mostró variabilidad en su actividad fotosintética a nivel de individuos. Los ejemplares evaluados mostraron una tendencia a incrementar la asimilación de  $\text{CO}_2$  y con ello aumentar el proceso fisiológico, exponiendo una asimilación máxima de  $21.1 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  a niveles de concentración superiores a  $450 \mu\text{mol}/\text{mol}$  y  $500 \mu\text{mol}/\text{mol}$  (Fig. 25). Por tanto, la especie muestra una capacidad óptima de resistir concentraciones elevadas de  $\text{CO}_2$ , así como presentar una alta capacidad de emplear este gas de forma fotosintéticamente activa.



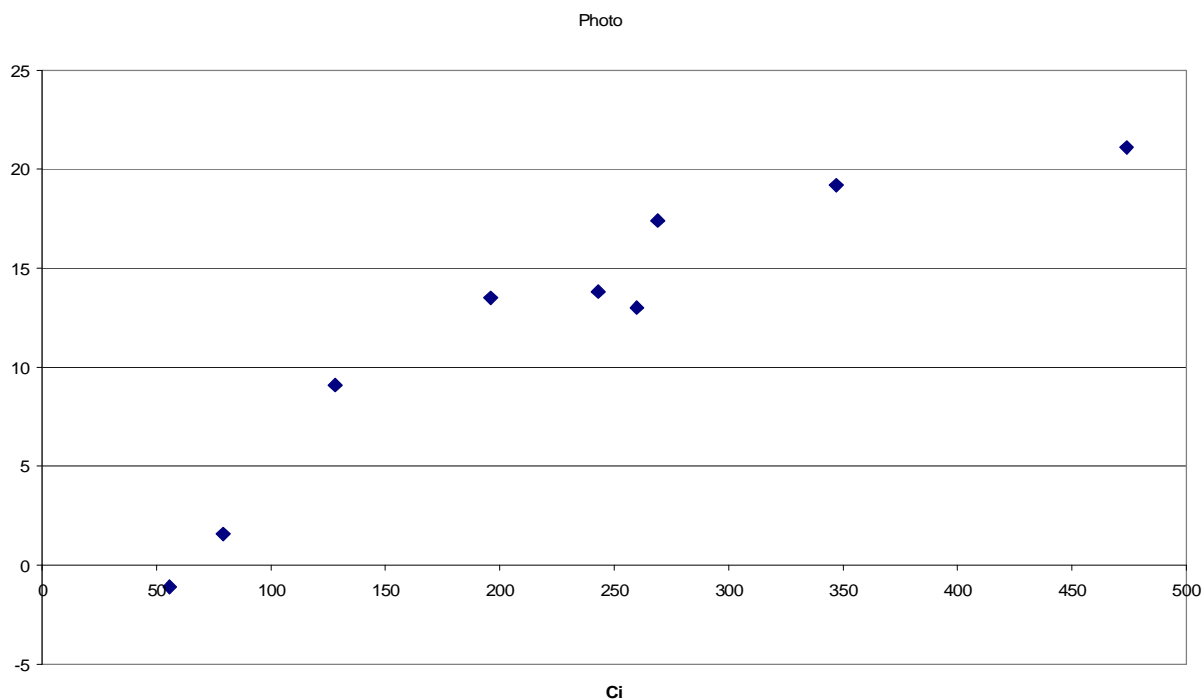


Fig.25. Comportamiento de la fotosíntesis en *T. catappa* al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

Tabla.14. Amax y Resp de cada individuo por especie.

Indiv.	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	16.00	0.0756	-5.219	4.33	Positiva
2	21.10	0.1065	-9.352	5.09	Positiva

## 5. Crecimiento.

La especie a los 8 años registró un crecimiento medio de 4,0 m en altura y 6,08 cm de diámetro; 8,0 m y 19,0 cm a los 10 años de edad. Según Betancourt (2000), en una plantación de 16 años de edad, promedió 14 m de alto y 28,5 cm de diámetro; en el Jardín Botánico de Cienfuegos, dos árboles de 44 años,

midieron uno 18 m de altura y 42 cm de diámetro y otro, 16 m de alto y 48 cm de diámetro.

## **6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

La madera de *T. catappa* es apropiada, según Ibáñez y col, referidos por Betancourt (2000), para carpintería y ebanistería corriente; puede ser usada, ventajosamente, en muebles, chapas y desenrollados; ofrece un buen aspecto para chapas decorativas. Además se puede emplear en carpintería en general y forros interiores; también con posibilidades de éxito, para cajas de tabaco. Las raíces, las hojas y los frutos de estos árboles, producen tanino que se puede emplear como curtiente. Las semillas son oleaginosas y comestibles.

Esta planta también tiene propiedades medicinales, en México se utiliza por sus propiedades astringentes y tónicas; en Cuba se utilizan las hojas machacadas en baños contra la picazón de la piel y la corteza contra las erupciones; también se han usado las hojas y el fruto en cocimientos contra la hemoptisis; en Colombia se emplean los frutos y la corteza como febrífugos y contra la diarrea y el asma. Tolerancia a cierto grado de salinidad lo que puede utilizarse para efectuar plantaciones en los suelos bajos costeros (Betancourt, 2000).

También es utilizada como planta ornamental.

Es una especie tropical de Asia que se ha introducido y propagado ampliamente en numerosos países tropicales. Forma parte de los bosques húmedos tropicales. Desarrolla bien en diversos suelos, tanto en los húmedos con alto contenido de cloruros junto a las costas, como en los altos y secantes. Es gregaria, coloniza en los bancos de arena y crece desde el nivel del mar hasta 300 m o más de altitud.

En Cuba se le encuentra fundamentalmente como planta ornamental en jardines y parques.

## ***Cecropia schreberiana* Miq.**

- 1. Nombre común:** yagruma (**Cuba**); yagrumo hembra (Puerto Rico); bosbapaja, congo puma, shake wood (Guayana Británica); guarumo (Ecuador)
- 2. Características botánicas:** Árbol siempre verde con rápido crecimiento, correspondiente a la familia **Moraceae**, de porte pequeño a grande de 6m a 32 m de altura con 15 cm hasta 50 cm de diámetro. La base del tronco a menudo es estrecha y con varias raíces zancudas. Las pocas ramas no forman una copa definitivamente cerrada. La corteza es gris clara y lisa, un poco agrietada en troncos grandes y tiene en los nudos sus anillos horizontales en forma de cicatrices procedentes de las yemas. Contiene látex lechoso. La corteza interior es de color crema vetada y si sabor. Hojas muy grandes con pecíolo muy largo, redondeadas, blanquecinas por el envés, dividida en 7 a 11 lóbulos plegados; alternas, de color verde levemente áspera pelosa por el haz. Flores masculinas y femeninas agrupadas en agostos grupos amarillos o grises. Frutos múltiples, grises, levemente suaves y carnosos se componen de numerosas semillas lustrosas de color café claro con pulpa verdosa sin sabor, generalmente diseminadas por las aves. La madera tiene la albura blanquecina, el duramen de color café claro (FAO, 1970). Presenta una textura gruesa, grano recto, muy ligera; se puede cepillar y clavar. Es poco durable, se mancha fácilmente cuando está sometida a la humedad. Tiene la médula hueca (Fors, 1965).



### 3. Densidad maderable.

Su madera es blanda, con un peso específico desde  $0.300 \text{ g/cm}^3$  hasta  $0.545 \text{ g/cm}^3$  (FAO, 1970). Es muy ligera, con un peso específico de  $0.300 \text{ g/cm}^3$  hasta  $0.350 \text{ g/cm}^3$  (Fors, 1965).

### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

Esta especie mostró, aunque muestra una tendencia positiva en cuanto al incremento de fotosíntesis, si se analiza cada punto, se puede apreciar una ligera variabilidad intraespecífica en su conducta frente al incremento de dióxido de carbono, pues los individuos uno y tres, presentaron una tendencia marcada a incrementar la fotosíntesis a medida que aumentaba la concentración del  $\text{CO}_2$  en el mesófilo (Fig. 26). Estos ejemplares a concentraciones de  $600 \text{ } \mu\text{mol/mol}$  del gas anteriormente citado, continuaron acrecentando la asimilación del mismo hasta valores aproximados a  $30 \text{ } \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ., por los que estos ejemplares muestran capacidad de resistir elevadas concentraciones de dióxido de carbono.

Sin embargo, el individuo dos, mostró una curva de fotosíntesis ascendente hasta 250  $\mu\text{mol/mol}$  de dióxido de carbono concentrado, alcanzando en este punto una asimilación máxima aproximada a 18  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ; posteriormente (aproximado a 300  $\mu\text{mol/mol}$  de concentración de  $\text{CO}_2$ ) ésta desciende a valores cercanos a 13  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  (Fig. 27), para luego permanecer casi constante de lo cual se infiere que dicho ejemplar no resiste ni elevadas ni medias concentraciones del gas.

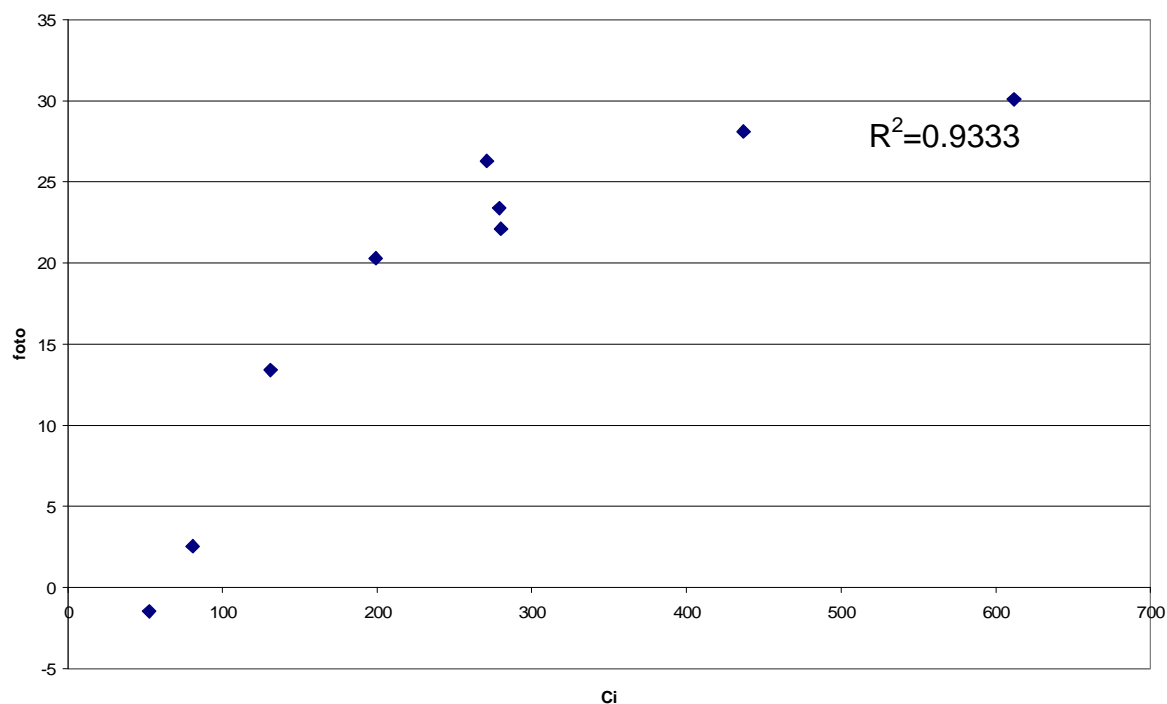


Fig.26. Comportamiento de la fotosíntesis en *C. schreberiana* (muestra 1 y 3) al aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en el mesófilo.

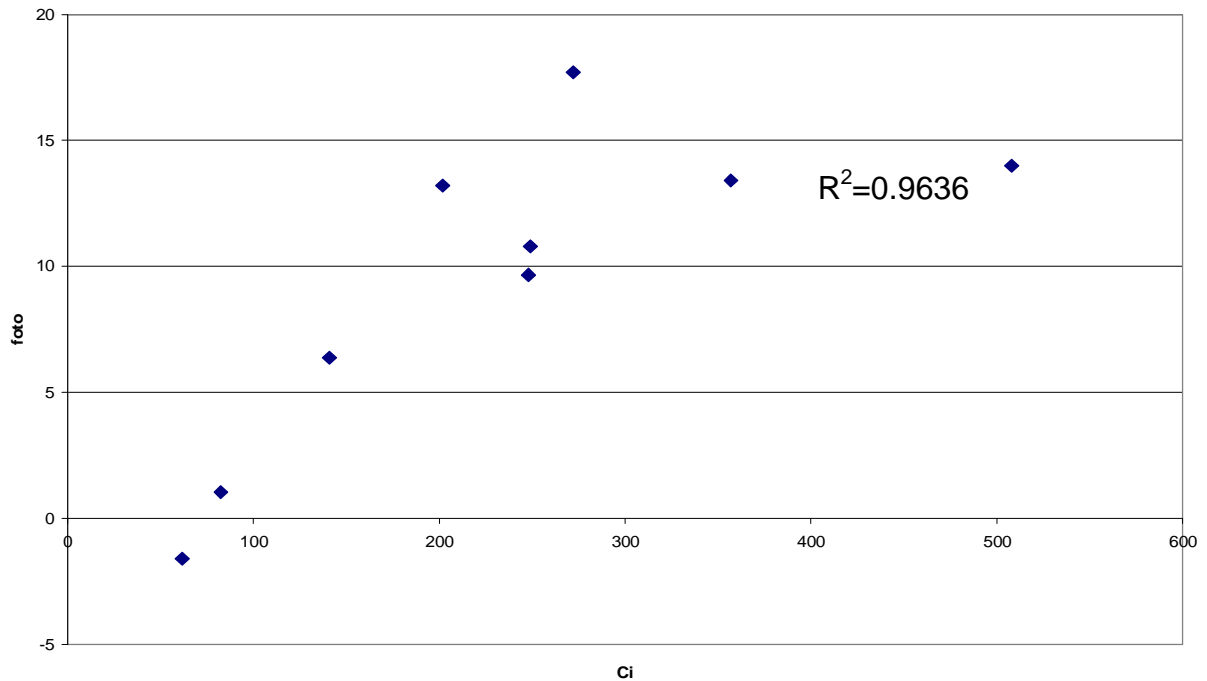


Fig.27. Comportamiento de la fotosíntesis en *C. schreberiana* (muestra 2) al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

El primer tramo de la curva en ambos gráficos expresa la utilización fotosintética de CO<sub>2</sub>, posteriormente ocurre una *aclimatación* de la fotosíntesis la cual a menudo disminuye la capacidad fotosintética porque incrementa la concentración de carbohidratos y disminuyen las proteínas solubles como la Rubisco. El incremento de carbohidratos se debe a que la tasa de fotosíntesis excede la capacidad de utilizar los fotoasimilados producidos para el crecimiento y como consecuencia la planta es incapaz de asimilar los carbohidratos adicionales que la fotosíntesis puede proporcionar con un CO<sub>2</sub> elevado.

Tabla.15. Amax y Resp de cada individuo por especie

Indiv.	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	24.60	0.1924	-10.40	9.61	Positiva
2	9.96	0.983	-3.63	5.67	Positiva
3	17.90	0.1487	-6.114	8.65	Positiva

### 5. Crecimiento.

La especie a los 8 años de edad alcanza una altura media de 10,0 m con 12,0 cm de diámetro; a los 15 años presenta 14,0 m de alto con 26,0 cm de diámetro.

### 6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

Crece en suelos bajos y húmedos de los bosques pluviales en toda la región tropical; en suelos delgados. Habita en la región climática superhúmeda con más de 2000 mm de lluvia, y uniformemente distribuida, soportando 26 °C a 27 °C de temperatura media. Se regenera fácilmente, invadiendo zonas cortadas y campos abandonados o quemados (FAO, 1960), por lo que se cataloga como especie pionera.

En Cuba se encuentra distribuida por toda la Isla en terrenos despejados, semisecos, pedregosos, de faldas de lomas (Fors, 1965).

Es una especie común en áreas abiertas como malezas, claros, bosques secundarios, cultivos abandonados. En Ecuador y Puerto Rico se utiliza como pulpa para papel (FAO, 1970).

Se puede emplear en la fabricación de cajas, huacales de frutos, cepillos de raíz, pulpa para papel (Fors, 1965).

En Cuba se emplean las hojas, la corteza y el látex. La corteza y las hojas son antiasmáticas, astringentes, antiblenorrágicas. El látex, cáustico, se usa para destruir verrugas, callos y herpes. La preparación farmacéutica es un extracto fluido.

En la medicina casera se usan las hojas en decocción contra la tos, obteniéndose buenos resultados (Roig, 1965).

Se asocia en bosques semicaducifolios sobre suelo ácido con *Bursera simaruba*, *Anacardium occidentale*, *Matayba oppositifolia*, *Schefflera morototoni* (MINAG, 2007).

También se asocia con *Andira spp*; *Erythrina spp*, *Cedrela odorata*; *Swietenia mahagoni* (FAO, 1960).

### ***Schefflera morototoni* (Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin**

1. **Nombre común:** yagrumón, cordobán (Cuba); candelero, roble blanco (México); mangabé (América Central); pana cimarrona (Puerto Rico); tortolito (Colombia); arumo macho (Venezuela); ambay, guazú (Argentina); matchwood.
2. **Características botánicas:** Árbol perennifolio perteneciente a la familia ***Araliaceae*** de 15 m a 30 m de altura y de 40 cm a 80 cm de diámetro; copa redondeada a umbeliforme, poco ramificada; fuste recto con dos o tres ramas principales ascendentes. La corteza es de color pardo- amarillenta, irregular, escamosa, que se desprende en láminas. Hojas compuestas, digitadas con un largo pecíolo, tienen de 9 a 10 foliolos, haz verde oscuro, envés verde claro y pubescente. Flores en inflorescencias en panículas de umbelas. Fruto en forma de drupa carnosa, comprimida lateralmente, gris verdoso con dos o tres semillas en su interior. Su madera es de color amarillo naranja grisáceo (CATIE, 2001).





### 3. Densidad maderable.

La madera es pesada a moderadamente pesada con un peso específico entre  $0.53 \text{ g/cm}^3$  a  $0.60 \text{ g/cm}^3$  (CATIE, 2001). La madera no es muy durable (FAO, 1960). Tiene un peso aproximado entre  $0.450 \text{ g/cm}^3$  a  $0.500 \text{ g/cm}^3$ , una textura gruesa, muy fácil de trabajar, susceptible de mancharse por humedad y ser destruida por insectos (Fors, 1965).

### 4. Transpiración, fotosíntesis y curvas $A/c_i$

Esta fue una especie que no mostró variabilidad entre los individuos estudiados y presentó una tendencia a incrementar su fotosíntesis a medida que aumentaba la concentración de dióxido de carbono; constituyendo al igual que *R. mangle* una especie que no sufrirá impactos negativos, dando una respuesta positiva frente al incremento de este gas al aumentar conjuntamente su tasa de crecimiento y con ello su productividad vegetal (biomasa).

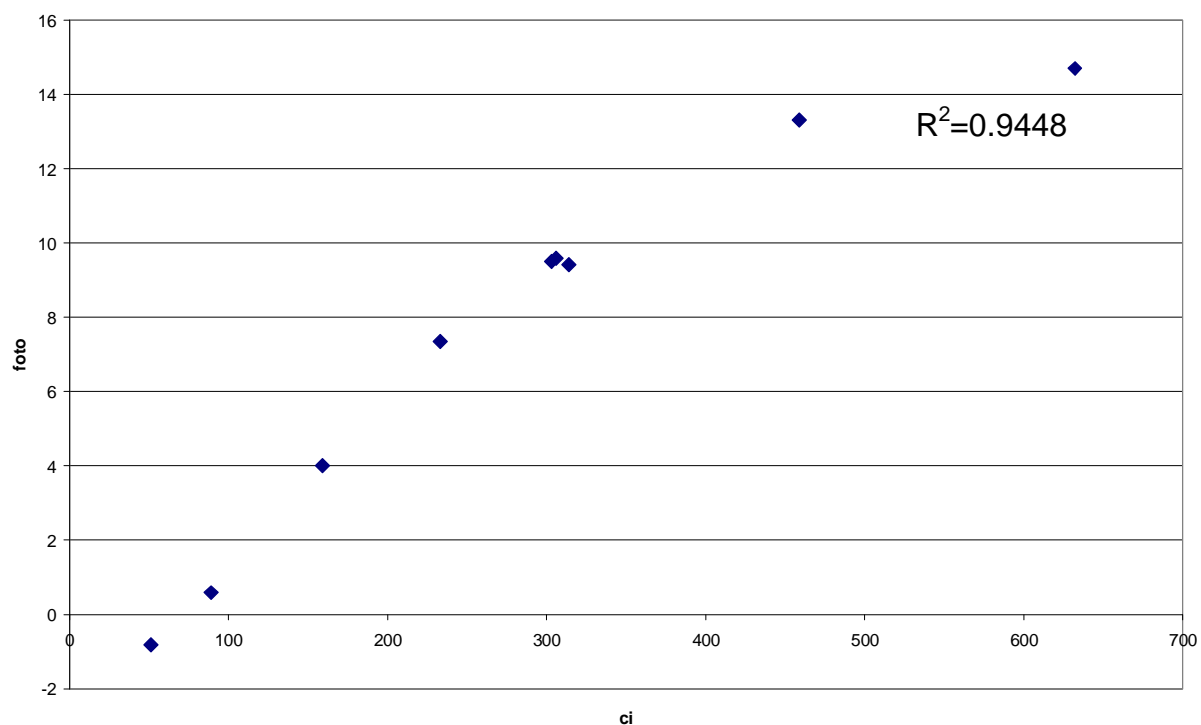


Fig.28. Comportamiento de la fotosíntesis en *S. morototoni* al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en el mesófilo.

A continuación en la tabla.16 se observan los valores obtenidos por cada muestra.

Tabla.16. Amax y Resp de cada individuo por especie

Indiv.	Amax ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Eficiencia fotosintética ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Respiración ( $\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ )	Transpiración ( $\mu\text{mol}$ )	Fotosíntesis
1	12.7	0.0654	- 4.388	7.62	Positiva
2	7.64	0.0340	-3.126	2.55	Positiva
3	13.3	0.0452	- 3.248	6.59	Positiva

## 5. Crecimiento.

Es una especie que alcanza como crecimiento medio 13 m de altura con 25 cm de diámetro.

## 6. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

La floración ocurre entre los meses de noviembre a enero, aunque en Brasil suele suceder de octubre a marzo. La fructificación tiene lugar durante los meses de enero a marzo; la dispersión de sus frutos es realizada por aves y mamíferos. El período óptimo para la recolección de los mismos, a través de su ámbito de distribución geográfica, está entre los meses de marzo a julio, cuando toman la coloración de gris verdosa a pardo azulada (CATIE, 2001).

Su madera es fácil de trabajar y presenta un secado rápido. Se usa en carpintería en general, construcción interior, cajas, cajones, chapa, muebles finos y palillos de fósforos. Sus hojas tienen uso medicinal y es plantada en parques como ornamental.

También es utilizada en enchapado, combustibles, postes, en la fabricación de lápices (FAO, 1960)

Se distribuye naturalmente desde México a Brasil, variando en altitud (0 a 1200 m snm). Es una especie pionera, típica de vegetación secundaria. Prefiere suelos profundos, bien drenados, con fertilidad natural alta, donde la textura de los suelos varía de arenosa a arcillosa.

Se distribuye geográficamente en los bosques húmedos de las bajas montañas y de las zonas tropicales y subtropicales, desde las Antillas hasta Brasil y Argentina. Prefiere un clima húmedo a muy húmedo, con más de 2000 mm de lluvias uniformemente distribuidas y temperatura media de 20 °C a 25 °C, sobre suelos ácidos permeables (FAO, 1960).

Se asocia en bosques semicaducifolios sobre suelo ácido con *Bursera simaruba*, *Talipariti elatus*, *Juglans insularis*, *Prunus occidentalis*, *Poeppigia procera*, entre otras.

También se le suele encontrar en bosques pluvisilva de montaña conjuntamente con *Manilkara albescens*, *Carapa guianensis*, *Talauma minor*, *Juniperus lucayana*,

Osiris Ortiz Álvarez.

*Zanthoxylon elephantiasis*, etc (MINAG, 2007). También se le suele encontrar en rodales abiertos en los claros y en los bordes de las sabanas conjuntamente con *Buchenavia capitata* y *Cecropia schreberiana* (FAO, 1960)

### ***Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f.**

1. **Nombres comunes:** patabán (Cuba); palo de sal (Costa Rica); mangle prieto (República Dominicana); mangle chino, mangle amarillo (México).
2. **Características botánicas:** Árbol correspondiente a la familia **Combretaceae** que alcanza de 15 a 22 m de altura y 40 a 70 cm de diámetro; follaje moderadamente denso y levemente caído con ramas extendidas. Fuste recto, cilíndrico con base alargada y neumatóforos. La corteza es gris oscura a rojizo morena, áspera, con grietas profundas. Hojas simples, opuestas. Inflorescencias en panículas terminales o axilares, fragantes, de color blanco. Fruto en forma de drupa obovoide, ligeramente comprimida, de color verde a pardo (CATIE; 1999).



### 3. **Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza**

La madera es dura y pesada con un peso específico de  $0.919 \text{ g/cm}^3$ . La albura es de color castaño claro y el duramen rosado. Tiene textura media, grano recto y lustre medio; moderadamente difícil de trabajar, secar y moderadamente fácil de preservar. Tiene una durabilidad natural media.

#### 4. **Crecimiento.**

La especie alcanza en estadio adulto 15 m de altura y 20 cm de diámetro.

#### 5. **Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

Comienza a florecer a partir de los 2 años de edad. La floración se produce entre febrero y mayo (CATIE; 1999).

Según IES (1999), la secreción de néctar es menor que la del mangle prieto y se mantiene hasta el mes de junio extendiendo la disposición de materia prima para las abejas que fabrican una miel ámbar claro de sabor agradable.

Es utilizada en construcciones rurales, vigas, postes, durmientes, mangos para herramientas, muebles e instrumentos musicales, la corteza contiene taninos y se utiliza para curtir pieles. Es una planta melífera y al igual que otras especies de mangle, protege las costas, estabiliza el suelo y brinda refugio y alimento a múltiples especies terrestres y acuáticas; aunque no tolera lugares con grandes fluctuaciones del nivel de agua (CATIE; 1999).

La especie se encuentra distribuida en la Florida, norte de México, a través de América Central y Las Antillas hasta Perú, Brasil y Ecuador. Es una especie de climas tropicales con altas precipitaciones anuales. Se encuentra a lo largo de lagunas llenas de sedimento y en los estuarios marinos de costas (IES, 1999).

Es una especie autóctona de los manglares cubanos (Bisse, 1988).

## ***Avicennia germinans* (L.) L.**

1. **Nombres comunes:** mangle prieto (Cuba); palo de sal, mangle salsa (Costa Rica); mangle salado (Panamá); mangle negro, madre de sal, mangle prieto (México).
2. **Características botánicas:** Árbol perteneciente a la familia ***Avicenniaceae*** con alturas de 15 a 30 m y diámetros de 20 a 60 cm. Follaje claro y abierto; fuste recto y cilíndrico con base cónica o alargada y neumatóforos en contorno a la base. La corteza es gris negruzca con un ligero reflejo plateado, áspera. Presenta hojas simples, opuestas decusadas. Inflorescencias en panículas terminales o axilares, que presenta flores blancas con el centro amarillento (CATIE, 1999b). Los frutos son cápsulas oblicuo elipsoides. La albura es de color castaño claro y el duramen castaño oscuro o negruzco.



### **3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza**

La madera es dura y pesada, con un peso específico de  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , aunque Fors (1975) reporta valores entre  $0,1000$  a  $0,110 \text{ g/cm}^3$ . Tiene textura media, grano entrecruzado y brillo medio. Es moderadamente fácil de trabajar y preservar y tiene un secado medio. Su durabilidad natural es alta.

#### **4. Crecimiento.**

La especie a los 15 años de edad muestra un crecimiento en altura de 9 m con 15 cm de diámetro.

#### **5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

La floración se produce de octubre a noviembre y sus frutos maduran de enero a febrero (CATIE, 1999b). Es utilizada en muebles, durmientes para ferrocarril, postes para cercas y carbón. De la corteza se extraen taninos. Es una planta melífera (CATIE, 1999b).

La miel producida es muy densa, de sabor ligeramente salobre, recomendada para la pastelería. La resina diluida en alguna grasa se utiliza para curar úlceras y tumores; la goma que exuda el tronco es eficaz para las enfermedades del pecho. Los árabes utilizan sus raíces como afrodisíaco (IES, 1999).

Se distribuye naturalmente desde el sur de la Florida, a través de América Central y las Antillas, hasta Perú en América del Sur.

Crece en ambientes húmedos tropicales con precipitaciones anuales de 1000 a 1600 mm y temperaturas de 22 °C a 28 °C.

Se desarrolla en terrenos anegados por corrientes marinas con altas condiciones de salinidad, siendo la especie de mangle que tiene mayor tolerancia a la misma. Crece asociada a otras especies del manglar y rara vez forma rodales puros (CATIE, 1999b).

Constituye una especie autóctona de los manglares cubanos (Bisse, 1988).

## **Conocarpus erectus L.**

1. **Nombres comunes:** yana (Cuba); mangle jolí (Ecuador).
2. **Características botánicas:** Especie que conforma parte de la formación boscosa manglar. Árbol correspondiente a la familia **Combretaceae** de escasa importancia melífera porque las abejas no acuden a sus flores o las visitan esporádicamente (IES, 1999). Es un árbol pequeño, normalmente de 10 m de altura y 30 cm de diámetro, pero puede alcanzar los 20 m de altura y hasta 80 cm de diámetro. La copa es densa y redondeada. La corteza externa es fisurada y se desprende en escamas muy delgadas. Las hojas son simples; flores en panículas axilares, fragantes; frutos en forma de nuez alada. Habita en suelos arenosos, más compactos (OFI-CATIE, 2004). Presenta una especie semilla recalcitrante, con germinaciones tan bajas como 0.1%, por tanto se recomienda la recolección de propágulos y dispersión en el área ha restaurar. Su principal producto es la madera, la cual es muy dura, compacta, de grano fino. Al labrarla es de color gris ocre, con vetas pálidas, irregulares que con el tiempo se tornan blanco rojizo (Hechavarría, 1999).





### 3. **Densidad maderable.**

Madera dura con peso específico de 0, 1100 g/cm<sup>3</sup>

### 4. **Crecimiento.**

En estado brinzal y fustal, en plantaciones, presenta 3,45 Mg/ha y 50,60 Mg/ha de biomasa de fuste respectivamente.

### 5. **Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

Se utiliza para leña y carbón, construcciones rurales, navales y urbanas, postes para cercas, durmientes y artículos torneados. En El Salvador es empleada en curvas de lanchas y en bongos pues resiste bien la humedad, además de obras exteriores de construcción, carbón para fraguas y laboreo de sal. En México también se usa para carbón. Las hojas y la corteza contienen taninos y se emplean para curtir pieles. La infusión que se obtiene del cocimiento de la corteza se utiliza en medicina casera como tónico, astringente y antiinflamatorio. En algunos sitios se utiliza como ornamental Esta especie se aprovecha del bosque natural, por lo que el único manejo recomendado es el fomento de la regeneración natural. También se puede emplear para la protección del litoral (uso fundamental dado en Cuba) (Hechavarría, 1999).

Sirve como alimento y hábitat para la vida silvestre. Se distribuye desde el sur de la Florida (EEUU), a través de México, América Central y las Antillas, hasta Perú y Brasil en América del Sur, así como el oeste de África (OFI-CATIE, 2004).

Es una especie autóctona de los manglares cubanos (Bisse, 1988).

## ***Cedrela odorata* L.**

1. **Nombres comunes:** cedro (Cuba); cedro, cedro amargo (Costa Rica); cedro real (Nicaragua); cedro colorado (El Salvador).
2. **Características botánicas:** Especie que se le encuentra naturalmente en la formación de bosque semicaducifolio sobre caliza. Es un árbol correspondiente a la familia **Meliaceae**, grande que puede alcanzar hasta 40 m de altura y dos metros de diámetro; es decíduo, tiene copa amplia, follaje ralo, de textura media (CATIE, 1997). De su follaje se han obtenido componentes químicos con propiedades medicinales para contrarrestar la malaria (Omar-S, 2003). Fuste cilíndrico, donde la corteza muerta es agrietada y la viva fibrosa, rosada a rojo pardo. Hojas alternas paripinnadas, agrupadas al final de la rama. Flores de color blanco, agrupadas en racimos. Su madera tiene una albura de color blanco grisáceo, con duramen color pardo rojizo y olor característico. Posee cierta resistencia al ataque de hongos e insectos, es fácil de trabajar, cepillar, tallar, tornear y lijar.



### 3. Densidad y concentraciones de C, N y otros elementos en madera, corteza y hojas.

Tiene una gravedad específica de  $0.36 \text{ g/cm}^3$ ; su peso verde promedio es de  $0,620 \text{ g/cm}^3$  con 74% humedad (CATIE, 1997).

Cuenta con 47,43 % de carbono retenido en la madera; en las hojas se concentra la mayor proporción de nitrógeno con 3.14% de valor medio, siendo en ésta parte de la planta donde se reúnen una considerable magnitud de los elementos químicos.

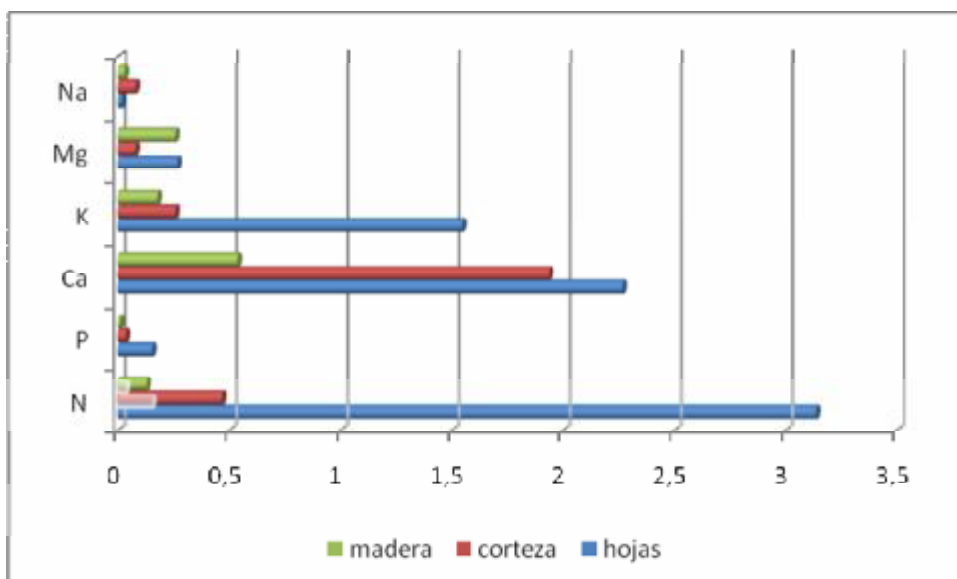


Fig.29. Composición química de la especie.

### 4. Crecimiento.

La especie muestra a los 6 años de edad un crecimiento medio de 7,0 m de altura con 16,0 cm, de diámetro; 14,0 m de alto con 45,0 cm de diámetro a los 27 años.

En un bosque natural regenerado con 19 años de edad, se reporta una biomasa total de 38.84 Mg/ha (Almeida, 2006). En estado fustal y en plantaciones, presenta 20,64 Mg/ha de biomasa en el fuste; mientras que en brinjal exhibe 2,94 Mg/ha.

### 5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

La floración se presenta con frecuencia entre marzo y junio, variando la fructificación por localidad (Itabo, Matanzas; Camagüey de septiembre a marzo; Guisa, Granma de octubre a marzo; Baracoa, Guantánamo casi todo el año). La época de cosecha es de marzo a mayo. La caída de las hojas se presenta de junio y el brote de hojas nuevas entre enero y abril (Hechavarría *et al*, 2000).

Se distribuye desde el norte de México hasta el norte de Argentina, incluidas las Islas del Caribe. Se le encuentra desde el nivel del mar hasta 800 m, con temperaturas entre 20 °C y 32 °C, y con una precipitación entre 1200 y 2000 mm por año, con una estación seca de tres a cuatro meses (CATIE, 1997).

En Cuba habita en los bosques semicaducifolios sobre caliza con *T. elatum*, *S. mahagoni*, *C. candidissimum*, *Pera bumeliaefolia*, entre otras (MINAG, 2007), siendo una especie autóctona de ésta formación boscosa (Bisse, 1988).

### ***Swietenia macrophylla* King.**

1. **Nombres comunes:** caoba de Honduras (Cuba); caoba, caoba de hoja grande, caoba del sur (América Central, México, Colombia); mogno, aguano (Brasil); oruba (Venezuela); mara (Bolivia).
2. **Características botánicas:** Es un ejemplar ampliamente utilizado en las plantaciones forestales. Perteneció a la familia **Meliaceae** que alcanza alturas de 35 a 45 m y diámetros de 75 a 150 cm, copa ancha, fuste recto, libre de ramas hasta un 50% de su altura total.

La corteza externa es de color gris a pardo rojizo, áspera con grietas profundas de color castaño claro. Hojas paripinnadas, grandes, alternas con 3 a 6 pares de folíolos, opuestos de color verde oscuro. Las inflorescencias están dispuestas en pequeñas

panículas de color blanco verdoso. La albura es de castaño claro y el duramen castaño rojizo. Su grano es recto a ligeramente entrecruzado, superficie brillante (CATIE, 1997 a).

Osiris Ortiz Alvarez.



### **3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza**

Su madera presenta un peso específico entre  $0,51 \text{ g/cm}^3$  a  $0,56 \text{ g/cm}^3$ , moderadamente liviana a moderadamente pesada. Presenta dificultad para preservar pero es fácil de trabajar (CATIE, 1997 a)

Cuenta con 46.79 % de carbono retenido en la madera.

### **4. Crecimiento.**

Cuando se encuentra en estado brinzal muestra  $1,59 \text{ Mg/ha}$  de biomasa de fuste.

### **5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

En la localidad Itabo, municipio Martí, provincia Matanzas la floración ocurre entre enero- febrero; en Camagüey entre abril y mayo. La fructificación acontece entre los meses de octubre a abril (Hechavarría *et al*, 2000).

Es una especie comercial e internacionalmente demandada como madera preciosa; se utiliza en construcciones livianas y molduras, embarcaciones, acabados, divisiones interiores y muebles de lujo (CATIE, 1997a).

Se distribuye naturalmente al sur de México, en América Central desde Belice hasta Panamá, Venezuela, Colombia y parte del Amazonas en Perú y Brasil. Crece en tierras bajas tropicales entre los 9 m snm y 1500 m snm, alcanzando su mayor desarrollo entre 1250 m y 1500 m, con precipitaciones entre 2640 mm y 3000 mm a temperaturas superiores de 24 °C. Prefiere suelos profundos, bien drenados y ricos en materia orgánica. Su desarrollo óptimo ocurre en suelos franco arenosos o arcillosos, fértiles, con buen drenaje interno y externo con pH entre 6.9 y 7.7 (CATIE, 1997a).

Se refiere que la regeneración natural se ve favorecida una vez haya sido afectada por perturbaciones catastróficas (Castaño *et al*, 2003).

En Cuba se ha plantado sobre una gama de suelos y en asociación con otras especies (MINAG, 2007).

### ***Albizia saman* (Jacq) F. Muell.**

1. **Nombres comunes:** algarrobo del país, algarrobo (Cuba); carrito, zorra, saman (América Central); saman (R: Dominicana); dormilón, guango (Puerto Rico); tepenahuaste, algarrobo (México).
2. **Características botánicas:** Árbol de la familia **Mimosaceae** que alcanza de 20 m o más de altura, y diámetros de 1 m a 2 m. Copa muy extendida que puede abarcar hasta 55 cm de diámetro; follaje verde brillante, muy denso. Fuste cilíndrico, con tendencia a crecer torcido debido a la gran sensibilidad de la especie al heliotropismo. La corteza es gris, negruzca y áspera. Las hojas son compuestas, bipinnadas, alternas con 2 a 6 pares de pinnas. Las flores son de color verdoso blanquecinas. Es una especie heliófila. Sus frutos son legumbres lineales, planas, de color café oscuro a negruzcas, indehiscentes, contienen de 6 a 8 semillas.

La madera presenta una albura de color amarillo pálido y un duramen café claro u oscuro, textura de mediana a gruesa, brillo mediano, veteado suave.

Osiris Ortiz Alvarez.



### 3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza

Su madera presenta un peso específico de  $0.48 \text{ g/cm}^3$ , considerada como moderadamente pesada. Retiene 46.37 % de carbono en la madera.

### 4. Crecimiento.

Cuando se encuentra en estado brinzal, puede contar con 2,70 Mg/ha de biomasa de fuste.

### 5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

La floración ocurre de enero a abril y la fructificación de febrero a junio con variaciones en el ámbito regional (CATIE; 1997b).

Se utiliza en ebanistería, carpintería fina, gabinetes, chapas decorativas, muebles de lujo, madera aserrada, construcciones rurales, ruedas de carretas, canoas y postes (CATIE; 1997b).

Se le encuentra en los bosques semicaducifolios sobre caliza asociada con *Hebestigma cubensis*, *Caesalpinea violacea*, *Guazuma ulmifolia*, *Zantoxylum martinicensis*, entre otras (MINAG, 2007).

Crece en suelos franco arenosos y franco arcillosos, con un pH de 5,5 a 7,0. Puede crecer en suelos pobres y muy ácidos, pero siempre bien drenados.



## ***Guazuma ulmifolia* Lam.**

1. **Nombres comunes:** guácima, guásima (Cuba); guácimo (Costa Rica); caulote (Honduras, El Salvador, Guatemala); cabeza de negro (Panamá); guacimillo (Nicaragua).
2. **Características botánicas:** Árbol de la familia ***Sterculiaceae***, siempre verde excepto, según IES (1999) en las zonas muy secas donde pierde sus hojas cuando hay un período poco lluvioso muy prolongado. Es de tamaño pequeño a mediano, de 10 m a 20 m de altura y hasta 60 cm de diámetro.

Tiene copa redondeada y extendida, follaje caído, liviano y abierto, con ramas extendidas oblicuamente, la forma del árbol varía dependiendo de las condiciones climáticas de donde se encuentre.

Presenta la corteza de color gris pardo, con frecuencia gruesa, agrietada o acanalada en tiras y áspera. Hojas simples, alternas, pecioladas, ovadas y aserradas, de color verde mate y cubierto de pelos en el envés (CATIE, 1991).

Los racimos florales son ramificados en pedúnculos formados por pequeñísimas flores blanquecinas, muy fragantes que son visitadas por las abejas en un período que no abundan otras fuentes de néctar. El fruto es una cápsula elipsoidal verrugosa, indehiscente, de color negro púrpura en su madurez y con una pulpa que contiene hasta 80 semillas duras.

La madera es de color gris anaranjado, tiene grano recto y textura mediana; lustre regular.





### **3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza.**

Presenta un peso específico 0,51 g/cm<sup>3</sup>. La contracción volumétrica es de 14,1%, el módulo de ruptura de flexión estática es de 933 0, g/cm<sup>3</sup> en condición seca y de 0,590 g/cm<sup>3</sup> en condición verde (CATIE; 1991). Retiene 46.42 % de carbono en la madera.

### **4. Crecimiento.**

A los 10 años de edad la especie cuenta con 9 m de altura y 15 cm de diámetro.

### **5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

La floración ocurre entre los meses de agosto a septiembre. La maduración de los frutos ocurre al inicio de la época seca (noviembre-diciembre) con mayor productividad entre febrero y abril (CATIE, 1997 c).

Su madera se trabaja fácilmente, se usa para postes, carpintería en general, construcción, mangos de herramientas; también como leña y carbón por considerarse un combustible de excelente calidad (Fors, 1967).

Se distribuye en América tropical, desde el sur de México hasta el norte de Argentina y la parte meridional de Brasil; así como a lo largo de las Antillas; en zonas bajas cálidas, con una temperatura media anual superior a 24 °C. Crece mejor en zonas con precipitaciones anuales entre 700 mm y 1500 mm, aunque se le ha encontrado en zonas de 2500 mm (CATIE, 1997c).

Suele encontrarse a una altitud desde el nivel del mar hasta los 1200 m, aunque se observa con mayor frecuencia debajo de los 500 m de elevación.

Se adapta bien a las condiciones de las zonas bajas y llanuras costeras, especialmente con una estación seca definida. Suele presentarse en varias clases de suelos, desde texturas livianas hasta pesada; es más frecuente en aquellos con un pH superior a 5,5;

su desarrollo potencial se limita en suelos muy compactados o con alto contenido de arcilla (CATIE, 1997c).

Osiris Ortiz Alvarez.

En Cuba se le encuentra en los bosques semicaducifolios sobre caliza en asociación con *C. odorata*, *A. inermis*, *S. foetidissimum*, *Copaifera hymenaefolia* y muchas más (MINAG, 2007).

### ***Casuarina equisetifolia* L.**

1. **Nombre común:** Casuarina.
2. **Características botánicas:** Árbol perteneciente a la familia ***Casuarinaceae***, capaz de fijar nitrógeno atmosférico mediante la relación simbiótica entre las raíces y el microorganismo del suelo. Es un árbol siempre verde, de fuste recto y tamaño de mediano a grande que puede alcanzar 15 m a 30 m de altura o más y diámetros entre 20 cm y 50 cm; copa delgada que se hace ancha con la edad. presenta una corteza de color gris marrón, lisa cuando los fustes son jóvenes; rugosa y fisurada cuando son adultos. Las ramillas colgantes son de color verde oscuro a pálido con hojas escamosas, como pequeños dientes. Posee racimos florales de color ligeramente marrón. Produce frutos compuestos en forma de pequeños conos o piñas redondeadas, ligeramente cilíndricos. Cada fruto libera pequeñas semillas aladas de 6 mm de longitud (CATIE, 1991a), dichas simientes contienen clorofila y en ellas se realiza la fotosíntesis (Betancourt, 2000). La madera de la albura es rosada a marrón claro, el duramen es marrón oscuro, el grano es recto y la textura fina; raja fácilmente cuando está seca y es muy susceptible al ataque de termitas (CATIE, 1991a).



### **3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza.**

Su madera es fuerte, pesada ( $0,8 \text{ g/cm}^3$  a  $0,95 \text{ g/cm}^3$ ). Presenta 0.149% hasta 0.260% de contenido de nitrógeno en la madera, 0.617% a 0.835% de nitrógeno en la corteza y 1.079% hasta 1.781% en las hojas.

### **4. Crecimiento.**

A los 5 años de edad la especie alcanzó 6,50 m de altura con 5,0 cm de diámetro como valores promedios; a los 20 años presentó 24 m de alto con 31,0 cm de diámetro.

En plantaciones y estado fustal, alcanza 253,20 Mg/ha de biomasa de fuste; en estado brinzal, muestra, 13,60 Mg/ha de biomasa de fuste.

Estudios realizados por Benítez (2006) demostraron que la especie, en pie, con una clase diamétrica de 30 cm puede alcanzar aproximadamente 80 kg de peso foliar y 120 kg de biomasa de ramas. Con relación al peso seco, en la especie 48% se distribuye en el fuste, 18% en raíces, 16% en las ramas, 10% en la corteza y 8% en el follaje.

### **5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

La especie es nativa de las costas tropicales desde Burma, Las Filipinas, Australia, Sumatra y las Islas de Andamán. Se ha introducido en la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales (CATIE, 1991 a).

En Cuba se encuentra naturalizada (Bisse, 1988).

Su distribución altitudinal oscila desde el nivel del mar hasta 1000 m; en algunas regiones tropicales se le ha plantado hasta aproximadamente 2500 m. Presenta buen crecimiento a temperaturas entre  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , precipitaciones que varían entre 700

mm a 2000 mm, especialmente entre 1000 mm y 1500 mm, con una estación seca de 6 a 8 meses. Es poco resistente a las heladas.

*Osiris Ortiz Álvarez.*

Crece en una amplia gama de suelos (desde calcáreos y ligeramente salinos hasta ligeramente ácidos). Resiste inundaciones parciales, acepta salinidad del suelo y de las aguas subterráneas, pero su crecimiento se ve afectado bajo condiciones excesivas. Puede tolerar suelos alcalinos con un pH mayor de 9,5 (CATIE, 1991a).

Los suelos que sustentan esta especie muestran, en Cuba, entre 4,30 % y 5,27 % de carbono retenido.

Tiene un poder calórico de 20700 kJ/kg (4500 kcal/kg) y produce un carbón de excelente calidad (30000 kJ/kg), lo cual ha provocado su empleo en forma directa como combustible para locomotoras, arde fácilmente aún verde y las cenizas mantienen el calor por un período largo.

Se utiliza en postes y vigas para la construcción, postes de tendido eléctrico o telefónico, remos, fabricación de pulpa, en armazones para techo, mangos de herramientas, yugos y ruedas de carretas (CATIE, 1991a).

Se usa para la obtención de taninos (contenido de 6% a 8%); el follaje se emplea como forraje cuando no hay otro material verde disponible, en Cuba por ejemplo se han obtenido resultados como harina vitamínica para la avicultura. También se utiliza como planta ornamental y para el control de la erosión y restauración de los suelos erosionados; como cortina rompeviento, etc (Betancourt, 1988).

### ***Gerascanthus gerascanthoides* L.**

1. **Nombres comunes:** varía, baría (Cuba); canaleta, móncoro, solera (América Central).
2. **Características botánicas:** Árbol perteneciente a la familia ***Boraginaceae*** que puede alcanzar hasta 30 m de altura. Se distribuye por toda la Isla e Isla de la

Juventud, Antillas Mayores, Islas Caimán, México y América Central. Es una planta heliófila que presenta un fuste recto de 65 cm de diámetro, con hojas simples, alternas, elípticas, pubescentes; flores blancas; fruto en forma de drupa diminuta (Anónimo, 1998). Crece rápidamente, requiere suelos saneados, se le encuentra en suelos calcáreos y pedregosos de loma. No gusta de terrenos

*Osiris Ortiz Alvarez.*

bajos y con exceso de humedad. Prefiere precipitaciones entre los 900 mm y 1900 mm y temperaturas entre 23 °C y 25 °C; no obstante en Haití crece en sabanas secas donde las lluvias son inferiores a 750 mm y 850 mm con temperaturas superiores a 26 °C y 27 °C. Prospera en zonas se terraza entre el nivel del mar y 900 m de altitud (Anónimo, 1998).



### **3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza.**

Cuenta con una madera pesada con una densidad de 0.79 g/cm<sup>3</sup>. El valor medio del carbono retenido en la madera por esta especie es de 46,02%; 38.58% se localiza en la corteza y se ha obtenido 44,92% en la madera. Además retiene 1,19% y 0,42% de nitrógeno en la corteza y la madera, respectivamente.

### **4. Crecimiento.**

Con 11 años de edad alcanza 7 m de altura con 8,13 cm de diámetro. A los 25 años, la altura mostrada abarca 15 m y 50 cm de diámetro.

### 5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

La fructificación ocurre entre los meses de julio a septiembre generalmente, aunque estudios realizados por Hechavarría y col. (2000) arrojaron que ésta ocurre, según la localidad, entre febrero a julio. Florece de enero a marzo; sus flores permanecen una o dos semanas.

Su madera es catalogada como muy comercial (se encuentra dentro de las especies de frecuente comercialización), utilizada en muebles, mangos para implementos finos, pisos y carpintería en general. Producto a la flexibilidad de su madera, se emplea además en barras de catre y carruajes, ligazones de fábricas, cajas de colmenas, barriles, traviesas, cielorrasos, pasamanos, escaleras; pues aunque su albura es rápidamente destruida por insectos, su duramen es duro, resistente, durable y no se agrieta fácilmente (Anónimo, 1998).

En Cuba se le encuentra en los bosques semicaducifolios sobre caliza conjuntamente con *C. odorata*, *S. mahagoni*, *C. candidissimum*, etc; y semicaducifolios sobre suelo ácido unida a *C. calaba*, *Clusea rosea*, *Spondias mombin* (MINAG, 2007), siendo una especie autóctona de los montes semicaducifolios sobre caliza cubanos (Bisse, 1988)

Es uno de los ejemplares melíferos de mayor valor en las regiones donde abunda, produciendo un néctar muy copioso que brinda una miel de excelente calidad (IES, 1999).

#### ***Spondias mombin* L.**

1. **Nombres comunes:** jobo (Cuba); hog plum, yellow Bombin (Indias Occidentales); cajá, cajá mirim (Brasil); jobo colorado (Colombia); ciruela (México).
2. **Características botánicas:** Árbol de la familia **Anacardiaceae** que puede alcanzar hasta 30 m de altura; la corteza es de color pardo grisáceo, gruesa, áspera en muchos casos profundamente estriada y con proyecciones romas, semejantes a espinas. Hojas alternas, con un foliolo terminal impar. La inflorescencia es panícula terminal y ramificada. Fruto en forma de drupa ovoide

o elipsoidal, de color anaranjado apagado y brillante hasta amarillo o pardo, agrupado en racimos.



### 3. Densidad maderable.

Se reporta un peso específico de  $0,310 \text{ g/cm}^3$  (CATIE, 2001).

### 4. Crecimiento.

La especie alcanza 15 m de altura con 40 cm de diámetro a los 19 años de edad.

### 5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

Florece durante la estación seca, especialmente en agosto y septiembre (Bisse, 1988). Entre sus usos principales se destacan: la pulpa del fruto como alimento, en Brasil está considerado como uno de los mejores, teniendo una amplia difusión y aceptación en la forma de zumo fresco, sorbetes o helados; los cerdos se lo comen enteros. La madera es ligera y se utiliza para cajas, pulpa y leña. Tanto la corteza como las flores se utilizan en la medicina popular para preparar infusiones; las hojas sirven de alimento para el ganado (FAO, 1987).

Se encuentra generalmente en los bosques de tierra firme donde la precipitación es de 1500 mm o más, aunque es posible encontrarlo en zonas más secas.



La especie se originó probablemente en la cuenca del Amazonas, es conocido en el nordeste de Brasil, en Centroamérica y en las Indias Occidentales. Se le considera una especie de valor nutritivo pues aproximadamente la mitad del peso del fruto es pulpa y ésta se compone de 87% de agua, 10% de azúcares, 1-8% de fibra y 0,4% de cenizas. El contenido de vitamina C varía entre 34 mg/g y 56 mg/g; los azúcares aportan unas 40 calorías/100g, y el fruto es una buena fuente de vitaminas A y C (FAO, 1987).

En Cuba se le puede encontrar en las formaciones boscosas semicaducifolia sobre suelo ácido con *T. elatum*, *J. insularis*, *C. calaba*, etc y semicaducifolia sobre caliza con *C. odorata*, *S. mahagoni*, *Chrysophyllum oliviforme* entre otras (MINAG, 2007), siendo una especie autóctona de estos últimos (Bisse, 1988).

### ***Coccoloba uvifera* (L.) L.**

1. **Nombres comunes:** uva caleta (Cuba)
2. **Características botánicas:** Árbol o arbusto correspondiente a la familia ***Poligonaceae*** de 2-15 m de altura. Hojas simples, alternas, coriáceas. Inflorescencia robusta. Madera de color rosado, dura y compacta.





### 3. Densidad y concentraciones de C y N de madera y corteza.

Presenta una madera con un contenido medio de carbono de 44,66%; 45,00% se localiza en la corteza y 44,65% en la madera. Además retiene 0,56% y 0,37% de nitrógeno en la corteza y madera, respectivamente.

### 4. Crecimiento.

La especie con 15 años de edad registra un crecimiento en altura de 7,0 m con 20,0 cm de diámetro. En plantaciones, estado de brinzal y fustal, presenta 1,05 Mg/ha y 31,50 Mg/ha de biomasa de fuste respectivamente.

### 5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

Se distribuye en las costas de Cuba e Isla de la Juventud, Florida, Bahamas y desde las Antillas a Suramérica. Es cubana que forma una asociación particular de monte seco costero en las zonas influenciadas por el aerosol del mar y sobre suelos arenosos. Vive en simbiosis con micorrizas ectotróficas (Bisse, 1988).

En Cuba se le puede encontrar conformando la formación boscosa uveral (MINAG, 2007), en las playas o de forma aislada como planta ornamental.

## ***Sideroxylon foetidissimum* Jacq. subsp. foetidissimum**

1. **Nombre común:** jocuma (Cuba).
2. **Características botánicas:** Árbol grande perteneciente a la familia **Sapotaceae**, con tronco no cilíndrico que puede estar atablonado en la base en árboles viejos (Fors, 1967). La madera es dura y pesada, presenta un duramen amarillo parduzco y albura de color amarillo. Poco lustre, grano fino y recto. No es muy resistente a la humedad del suelo. El fruto es una baya en forma de drupa, de color amarillo de 2 cm de largo y 1 cm de diámetro; contiene una sola semilla grande. La germinación es demorada y errática comenzando hacia los 30 o 40 días. Presenta una corteza lisa de color gris claro. Hojas simples, brillantes,

alternas o verticiladas. Florece en junio y madura sus frutos entre enero y abril (Fors, 1967).



### 3. Densidad y concentraciones de C, N y otros elementos en madera, corteza y hojas.

Cuenta con un valor medio de 46,83% de carbono retenido en la madera, con 46,81% y 45,75% de carbono retenido en la corteza y madera, respectivamente. Además retienen la corteza y madera 1,53% y 0,55% de nitrógeno, encontrándose en la primera mayor contenido de calcio (3.75%<sup>±</sup>. 0.022) (Fig.30).



Fig. 30. Composición química de la especie.

#### 4. Crecimiento.

La especie en estado adulto presenta 16 m de altura con 50 cm de diámetro.

#### 5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.

Se emplea en traviesas, tablones, puentes, mangos de herramientas, etc (Fors, 1967).

La especie es nativa del sur de la Florida, Cuba, Bahamas y varias Antillas. No es abundante, aunque frecuenta muchos tipos de suelos; parece preferir los altos, pedregosos, bien saneados en sociedad con almácigos, barías y cedros (Fors, 1967).

En Cuba habita en los bosques semicaducifolio sobre mal drenaje mezclada con *T. elatum*, *C. guianensis*, *Juniperus lucayana*, *A. inermis*; semicaducifolio sobre caliza fusionada con *C. violacea*, *Dipholis gigantea*, *Trichilia hirta*, y en las pluvisilvas combinada con *M. albescens*, *T. elatum*, *T. minor*, etc (MINAG, 2007), siendo una especie autóctona de los montes semicaducifolios sobre caliza cubanos (Bisse, 1988).

### ***Gmelina arborea* Roxb**

1. **Nombre común:** gemelina (Cuba); kumhar, gumbar (Pakistán y noroeste de la India); yemani (Birmania); sau (Tailandia); white teak (inglés); le peuplier d'Afrique (francés).
2. **Características botánicas:** Árbol perteneciente a la familia **Verbenaceae**, cuando los árboles se encuentran aislados, por lo general el fuste es corto, con ramas gruesas y copas amplias; si crecen en competencia en las plantaciones y éstas son correctas y oportunamente aclaradas, son rectilíneos y con las ramas en lo alto en forma de cúpula. En sitios buenos y plantaciones bien atendidas, pueden alcanzar de 20 m a 25 m de altura y entre 60 cm y 70 cm de diámetro. Presenta una corteza lisa, suberosa y de color gris a marrón pálido en los árboles jóvenes, en las ramas y en la parte superior del tronco de los de mayor edad.

Hojas simples, opuestas, pecioladas, ovadas de color verde y glabro en el haz, y verde pálido, algo pubescentes en el envés, ápice de subagudo a agudo, miden entre 20 cm y 25 cm de largo y de 15 cm a 18 cm de ancho. Flores (inflorescencia) en panículas terminales de coloración pardusca; fruto en forma de drupa oblonga u ovoide, de color amarillo cuando están maduros, con la pulpa dulce. Las semillas son algo puntiagudas en un extremo de 1,5 cm a 2 cm de largo (Betancourt, 2000). Su madera es de color blanco cremoso o amarillento en la albura y duramen amarillo parduzco, con cierto matiz rosado



### **3. Densidad y concentraciones de C, N y otros elementos en madera, corteza y hojas.**

Su madera es fácil de aserrar y cepillar, adquiere buen lustre y se pule bien, se seca con lentitud al aire, con pocos defectos; tiene baja contracción radial y tangencial lo cual contribuye a su excelente comportamiento cuando está aserrada y a su estabilidad cuando está seca. La densidad promedio varía entre 0,481 y 0,497 g/cm<sup>3</sup>. Se utiliza en construcción, paneles de puertas, carpintería en general, cubiertas de barcos, minería, archivos y muebles de cocina, tacos de cerillas, armarios, trabajos artesanales, etc. Su principal utilización es el aprovechamiento,

en turnos de 7 a 8 años para pastas papeleras y también la producción de chapas para fabricar contrachapados (Betancourt, 2000).

#### **4. Crecimiento.**

En Cuba se han realizado plantaciones en diferentes lugares del país. En una parcela establecida en Rancho Boyeros, Ciudad de La Habana, promedió, a la edad de 4,5 años, 12,2 m de altura y 23,9 cm de diámetro; a los 11,5 años, 17,2 m de alto y 44,6 cm de diámetro, y cuando tenía 15 años, 23,25 cm de altura y 50,29 cm de diámetro. En Malawi, en una plantación de 10 años de edad se reporta como promedio, 15,5 m de altura y 22,6 cm de diámetro (Betancourt, 2000).

#### **5. Aspectos fenológicos, usos, áreas de distribución y asociaciones.**

El área de distribución natural de esta especie, abarca una notable extensión en las regiones tropicales y subtropicales de Asia, desde Pakistán hacia el este y sur de la India, Sri Lanka, Nepal, Birmania, Tailandia, Laos, Kampuche y Viet Nam hasta las provincias meridionales de China. Se asocia con *Tectona grandis* L. F, *Terminalia tomentosa*, así como bambúes de los géneros *Bambusa* y *Dendrocalamus*. Los mejores suelos para el buen crecimiento de estos árboles, son los profundos, húmedos, bien aireados y con buen contenido de nutrientes, de reacción algo acida a ligeramente alcalina (Betancourt, 2000).

#### **Impacto del incremento de la concentración de carbono sobre la eficiencia fotosintética.**

#### **Comportamiento fotosintético al incrementar las concentraciones de carbono en el interior del mesófilo.**

Un análisis concluyente de las curvas de fotosíntesis a niveles de 100, 200, 400 y 600 ppm de CO<sub>2</sub>, manifiestan que existe variabilidad en ellas, representadas en dos grupos: positiva y negativa.

Los individuos que muestran una fotosíntesis o curva negativa constituyen ejemplares arbóreos cuya actividad fotosintética se verá disminuida al incrementarse las concentraciones de CO<sub>2</sub>, por lo tanto están propensos a sufrir impactos negativos por este concepto, pues al disminuir ésta actividad fisiológica están propensos a que disminuya la producción de biomasa de los mismos.

Esta variabilidad se aprecia a escala inter e intraespecífico. (Fig. 31)

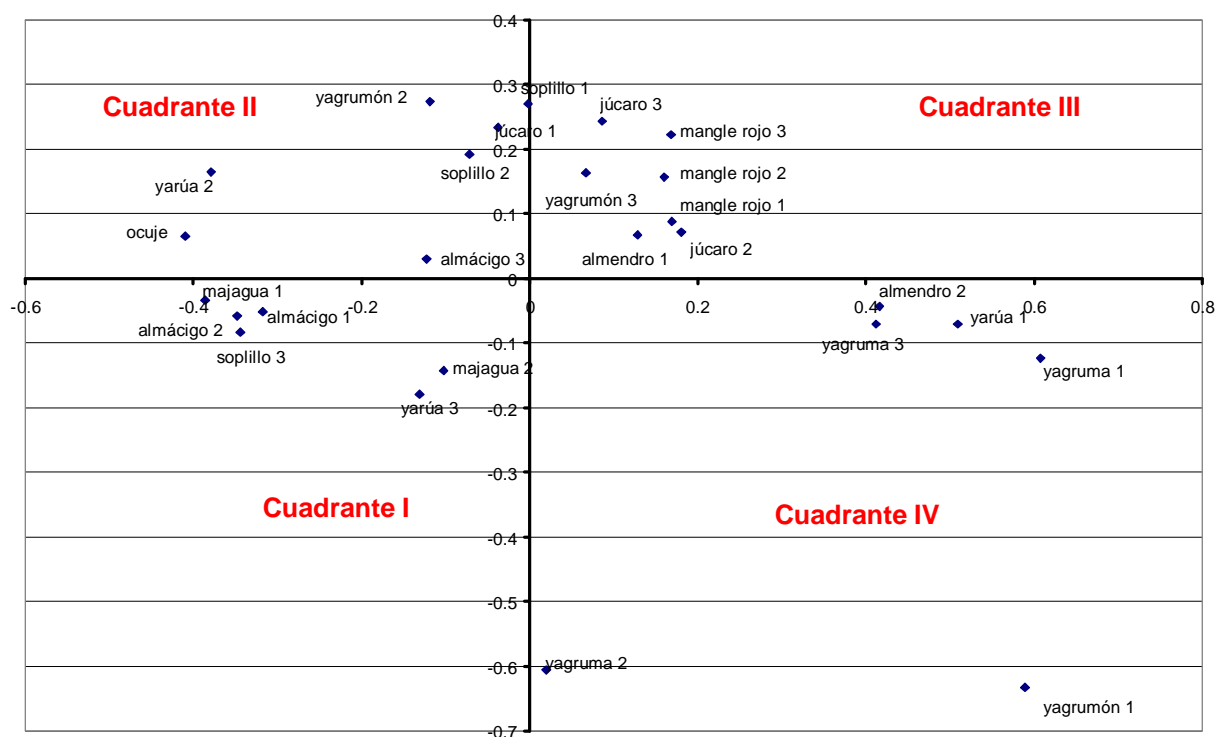


Fig. 31. Ubicación registrada de los individuos de cada espécimen.

En el trabajo realizado, se denotó que los ejemplares arbóreos estudiados mostraron de forma general, que ha medida que aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> se incrementa el proceso fotosintético hasta un punto determinado donde empiezan a mostrar una "sobresaturación" lo cual hace que la fotosíntesis decrezca, disminuyendo la tasa de asimilación. Se infiere además, que el momento en que disminuye este proceso o se alcance el punto de compensación depende de las características propias de cada especie.

Como se puede apreciar, los ejemplares arbóreos ubicados en los cuadrantes I y II muestran una curva de fotosíntesis negativa.

Se pudo observar un grado de variabilidad entre los individuos que conforman los géneros puesto que, en algunos casos al ocurrir un aumento de “fertilización” de CO<sub>2</sub> la planta se satura, y por tanto la absorción del mismo es casi constante o puede declinar, mientras que en otros la curva de asimilación continua *in cressendo*, mostrando la cualidad de soportar elevadas concentraciones de dióxido de carbono. Por ejemplo: en la especie *S. morotoni* el individuo 2 la fotosíntesis merma a elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>, disminuyendo con ello la asimilación de éste gas, la producción de azúcares que propicien el continuo crecimiento de la planta, mostrando así una curva negativa mientras que los ejemplares 2 y 3 ocurre lo opuesto. Otras especies con variabilidad son *C. violacea* (donde los ejemplares 2 y 3 muestran una curva de fotosíntesis negativa y el individuo 1 presenta una tendencia a continuar incrementando éste proceso fisiológico con el aumento del CO<sub>2</sub>); *B. buceras* y *L. latisiliquum*; resultados que aumentan los reportes dados por Karnosky *et al* (2007) pues según los autores, se ha encontrado un amplio rango de variabilidad inter-intraespecífico en respuesta al elevado CO<sub>2</sub> atmosférico, y que el amplio rango de variación en las respuestas sugiere que es probable que la comunidad boscosa cambie al ocurrir cambios en los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico siendo algunas especies y genotipos más favorecidos que otros.

Teniendo en consideración el valor obtenido mediante el cociente de determinación ( $R^2=0.9999$ , cociente más elevado y visto en la especie *B. simaruba*) se aprecia la existencia de correlación entre la asimilación del CO<sub>2</sub> y el incremento de la fotosíntesis. Esta fuerte correlación coincide con estudios realizados por Zotz *et al* (1995); Zotz y Winter (1993); Patanisamy y Gupta (2004).

Las derivaciones obtenidas constituyen un ente importante para los futuros manejos de las especies estudiadas, mostrando la veracidad de que el comportamiento o respuesta de las plantas superiores frente al incremento de este GEI, suele ser diverso, no solo entre las especies sino también entre los árboles que componen una misma variedad; demostrándose que constituye un factor que influye en la respuesta al cambio climático,



específicamente al mayor GEI concentrado en la atmósfera: el dióxido de carbono; coincidiendo con Azcón-Bieto *et al* (2003), los cuales señalan que los incrementos de la fotosíntesis no se dan de forma idéntica en todas las plantas, sino que varían según la fisiología de cada una de ellas. Aspecto también reafirmado mediante un estudio realizado por Huc *et al* (2004) donde se reflejan valores de asimilación máxima en los bosques de Guyana Francesa de 10.85  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  en período lluvioso y 8.44  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  en período de seca en la especie *Jacaranda copaia*; obteniéndose en el estudio realizado valores superiores a estos citados con anterioridad.

La variabilidad intraespecífica registrada ante el incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$ , reviste una importancia adaptativa pues los individuos que sobrevivan pueden transmitir su ventaja a alguna porción de su descendencia. Las especies que mostraron dicha variabilidad, demuestran presentar una mayor ganancia genética permitiendo dicha variabilidad que el impacto sea menos generalizado al reaccionar los genotipos de diferentes maneras.

Los individuos (genotipos) que responden mejor frente al aumento de dióxido de carbono pueden producir árboles genéticamente mejor adaptados a los cambios ambientales, sobre todo al incremento de  $\text{CO}_2$ .

De estos resultados se deriva, que el manejo silvícola sufra un cambio, siendo menester modificar los planes de manejo silvícolas trazados inicialmente, sobre todo los tratamientos tales como raleos y la duración del turno de tala o corta, pues se hace necesario tener en cuenta que especies como *C. calaba*; *T. elatum*; *B. simaruba* presentan una disminución de su actividad fotosintética, obteniéndose menores tasas de crecimientos o volúmenes de madera en pie, aunque *T. tilaceum* resultó ser una de las especies en alcanzar un punto de asimilación máxima elevado; contrario a estas, coexisten otras que se favorecen con el incremento de la concentración de dióxido de carbono (*R. mangle*;, individuos de *S. morotoni*, *B. buceras* y *L. latisiliquum*), favoreciéndose la eficiencia fotosintética, implicando un incremento en la producción de



biomasa, y con ello la obtención de volúmenes de madera en menor tiempo, a estas últimas se les podría reducir el turno de corta y por tanto los usufructos del bosque o plantación se pudiesen obtener en menor tiempo; reducir la densidad de las plantaciones comerciales, disminuyendo así la intensidad de un primer y segundo raleos en busca de obtener un mayor incremento.

Por tanto frente a la influencia del cambio climático sobre las especies de plantas no es loable realizar una simplificación del problema, al creer que todas las especies vayan a responder de la misma forma, éste estudio demuestra que la situación abarca más allá (nivel de individuos) aunque tampoco se pretende afirmar que hasta que no se conozcan las respuestas de cada una de las especies que constituyen una comunidad no se podrá realizar ninguna predicción sobre cual será su respuesta al mayor riesgo de finales del siglo XX y del presente.

## **PARTE II.**

### **Impactos.**

#### **Impactos esperados debido al aumento del nivel del mar.**

La zona sur de la Península de Zapata se caracteriza por presentar pendientes muy bajas, inferiores a 2%, lo cual provoca que existan áreas permanentemente inundadas, otras parcial o temporalmente inundadas. Estas se caracterizan por presentar suelos Turbosos y Ferralíticos Amarillos Lixiviados. Allí se concentran las ciénagas, gran número de canales y lagunas. Hacia la parte norte y colindando con los municipios Jagüey Grande y Unión de Reyes, las pendientes suelen ser más altas, un 2%, aunque persiste la topografía llana. En estas últimas se concentran mayormente las plantaciones con algunas especies que integran los bosques naturales semicaducifolios tales como *Talipariti elatum*, *Calophyllum calaba*, *Lysiloma latisiliquum*, *Cedrela odorata*, *Swietenia mahagoni*. Atendiendo a ello es de esperar el mayor nivel de impacto en la zona sur, donde se concentran la mayor parte de la superficie boscosa natural.

Para determinar la penetración del mar se utilizaron el escenario IS92A, establecido por IPCC en el año 1995, el cual representa un modelo que forma, definido por Álvarez (2006), una imagen alternativa y equiprobable de lo que podría acontecer en el futuro, constituyendo un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras de GEI y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis, por tiene incorporado las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo considerado como el centro de los escenarios de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global en el tiempo y el escenario descrito por Instituto de Oceanología de Cuba (2006) basado en evaluaciones y/o mediciones realizadas en el litoral durante un poco más de una década.

El grado de penetración del mar esperable en dependencia de la pendiente y de acuerdo con el escenario utilizado se muestra en las tablas 17 y 18:

Ø Según escenario IS92A

Tabla.17. Penetración del mar en base al nivel de elevación del mar .

Año	Elevación del mar (cm)	Pendiente (%)					
		0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.2
2030	12.63	631.50	421.00	315.75	252.60	157.88	63.15
2050	23.30	1160.00	776.67	582.50	466.00	291.25	116.50
2100	55.20	2760.00	1840.00	1380.00	1104.00	690.00	276.20

Ø Según el Instituto de Oceanología de Cuba (2006).

Tabla.18. Penetración del mar en base al nivel de elevación del mar.

Año	Elevación del mar (cm)	Pendiente (%)					
		0.02	0.03	0.04	0.05	0.08	0.2
2030	6.00	300.00	200.00	150.00	120.00	116.00	46.40
2050	10.00	500.00	333.33	250.00	200.00	188.50	75.40
2100	20.00	1000.00	666.67	500.00	400.00	369.75	147.90

**a) Evaluación cualitativa.**

En la EFI *Ciénaga de Zapata*, sobre tierra firme se desarrolla una vegetación acuática (de agua dulce y salada) donde predominan najas marítimas con *Ruppia*; otra vegetación temporalmente inundada caracterizada por la presencia de las cuatro especies de mangle existentes en Cuba, las cuales habitan en conjunto con la vegetación de saladar; bosques de ciénagas y bosques semicaducifolios con humedad fluctuante. Existe otra zona costera y subcostera no inundada y una

vegetación secundaria. Muchas de estas áreas constituyen reservas importantes por la flora y fauna que conviven en ellas.

De forma general no se establece una sucesión esquemática, ya que cercanas a la costa se pueden encontrar *Rizophora mangle* con *Avicennia germinans*; *Distichlis spicata* con *Conocarpus erectus* y bosques semicaducifolios mesófilos caracterizados por las especies *Lysiloma latisiliquum* y *Bursera simaruba*, o al *Conocarpus erectus* formando una vegetación pura. Es típico de esta zona la ocurrencia de transiciones, donde se puede observar la vegetación característica de bosques de ciénaga como *Bucida buceras* y un sistema de lagunas intermitentes rodeadas de *Cladium jamaicense* (cortadera de dos filos) (Caballero *et al*, 2007) (Anexo. 1).

La elevación del nivel del mar de 12.63 cm prevista para el 2030 según el escenario IS92A, el cual prevé los mayores estimados de elevación del nivel del mar, conllevará el aumento de los impactos negativos, provocando la muerte de las especies *Conocarpus erecta*, *Avicennia germinans* (sobre todo) en esta última debido a que los neumatóforos, estructuras que le permite a la especie realizar la respiración, quedan bajo el agua) *Laguncularia racemosa* y la asociación *Lysiloma latisiliquum* + *Bursera simaruba* (L.) Sargent (soplillo y almácigo) en aquellas áreas que queden permanentemente inundadas. En el caso de las tres primeras, debido a que sus estructuras facilitadoras del proceso respiratorio quedarán sumergidas y en las restantes, por la elevación del grado de salinidad.

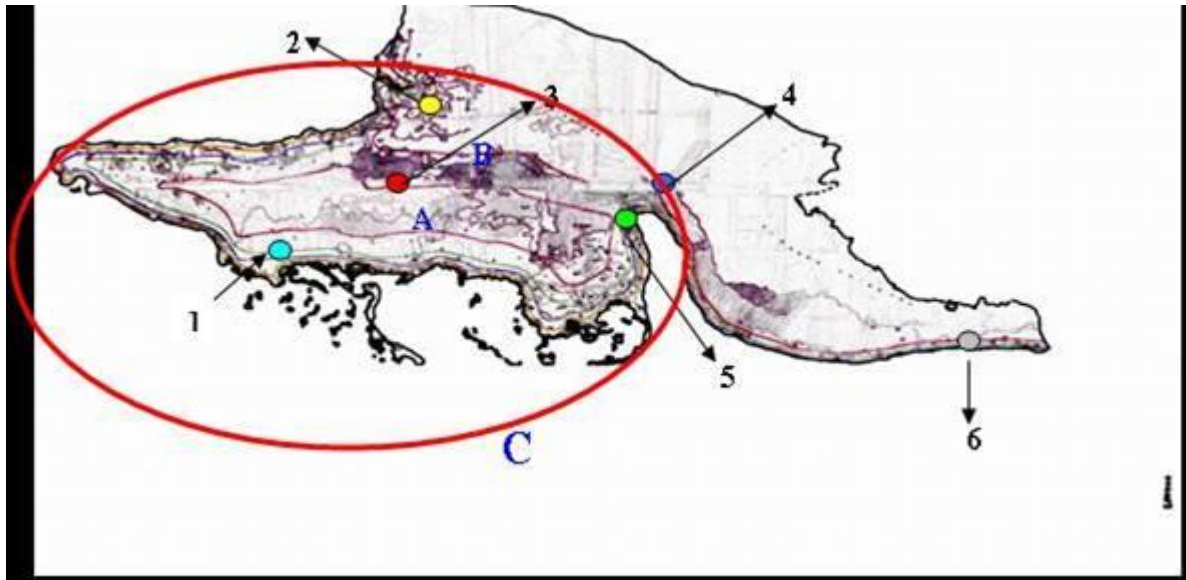
Es por ello que se sugiere el manejo y aprovechamiento silvícola de forma paulatina de estas áreas.

También sufrirán impacto las asociaciones *Conocarpus erectus* + *Bursera simaruba*; *Savia bahamensis* (icaquillo macho) + *Bumelia glomerata* (jiquí espinoso); así como *Coccoloba uvifera* (uveral).

En el año 2050 los impactos negativos serán reforzados por el aumento considerable de las ciénagas, de la Laguna del Tesoro y de los canales, lo cual traerá consigo la muerte de aquellas especies que crecen y se desarrollan en sus perímetros debido al aumento de las áreas inundadas de forma permanente, afectándose fundamentalmente *Conocarpus erectus* y la asociación *Bucida buceras* + *Tabebuia angustata* (roble); *Annona glabra* (bagá)+ *Chrysobalanus icaco* (icaco).

Para el año 2100 los impactos negativos ocasionarán considerables daños (sobre todo en aquellos lugares con pendiente igual o inferiores a 0.08%, al afectarse incluso áreas de vegetación boscosa no inundadas que se encuentran hacia zonas interiores por el aumento considerable de las ciénagas, canales y lagunas, como son parte de los bosques caducifolios caracterizados por la asociación *Pithecellobium lentiscifolium* (guayabillo)+ *Spondia mombin* (jobo), así como una porción de bosques subperennifolio mesófilo caracterizado por la asociación *Talipariti elatum* (majagua) y *Prunus occidentalis* (cuajani). Cabe esperar afectaciones también en zonas caracterizadas por la asociación *Conocarpus erectus* + *Bursera simaruba* (L.) *Sargentii* en uverales (*Coccoloba uvífera*).

Solo la especie *R. mangle* puede recibir un impacto positivo al aumentar sus áreas, pues es la especie capaz de habitar entre el flujo y reflujos del agua dulce y salada. Sin embargo, este árbol, al igual que el resto de la masa boscosa también puede ser afectado negativamente ya que la elevación del nivel del mar acarrea el avance de la cuña salina y una salinidad, muy alta o reducida, influye en el crecimiento, y si es extrema, causará la muerte del vegetal; además según referencias de FAO (1994 a) la descarga de grandes volúmenes de lodo procedente de los canales hace muy difícil el establecimiento de las especies, inclusive de aquellas más resistentes como *Avicennia germinans*, porque el fango tiende a obturar las lenticelas de los neumatóforos



○ Taxones de interés de flora y fauna que serán afectados.

Fig.32. Representación gráfica de las afectaciones al ecosistema forestal por la penetración del mar.

1. Hábitat de *Cocodrilus rhombifer*; *Torreomis inexpectata* (ave: cabrerito de la ciénaga: endémico estricto).
2. Hábitat de *Cocodrilus rhombifer*; *Pseudemys decussata* (jicotea); *Lepisosteus tristocchus* (manjuarí, pez). Se localiza especies florísticas como *Calycophyllum candidissimum* (dagame); *Annona glabra* (bagá); *Vallisneria neotropicalis* (hierba de manatí).
3. Se encuentran especies integradoras de la flora como: *Prunus occidentalis* (cuajaní); *Pera bumelifolia* (jiquí); *Lysiloma sabicú* (sabicú); *Manilkara jaimiquí* (ácana); *Mucuna urens* (ojo de buey); también de la fauna cubana como *Mellisuga helenae* (pájaro mosca).
4. Flora: *Vallisneria neotropicalis* (hierba de manatí); fauna: *Trichechus manatus* (manatí); *Agelaius assimilis* (mayito de ciénaga, ave); *Pseudemys decussata* (jicotea); *Lepisosteus tristocchus* (manjuarí).
5. Flora: *Atkinsia cubensis* (majagua negra de Cuba); *Bucida spp* (júcaros); fauna: *Amazona leucocephala* (cotorra).
6. *Albizia cubana* (bacona); *Dyospirus crassinervis* (éban carbonero); fauna *Cyclura nubila* (iguana, reptil).

Como se puede observar en la Fig.32, la zona identificada con la letra **A** y la línea **B**, reflejan el área afectada producto al aumento del volumen de los canales (abundantes en esta área), la Laguna del Tesoro, así como de las ciénagas (occidental) de ocurrir el aumento del nivel del mar según escenario IS92A,; siendo la zona **C**, la de mayores riesgos pues mayormente permanece anegada y posee un considerable números de canales, representando así, según Caballero *et al* (2007) 75% del territorio con zonas inundadas o provistas de agua; situación que sumada con el aumento del nivel del mar, hacen que la Península de Zapata constituya una de las regiones de mayor peligro o impactos a sufrir por este concepto.

Y aunque se presentan estimados para los años citados con anterioridad, es menester señalar, que este impacto es ya evidente en la actualidad, hecho que se corrobora en la siguiente muestra gráfica (Fig. 35), donde se refleja un casamata construido, según pobladores, a 45 m de distancia de la línea de costa en 1961 y que en la actualidad, sobre todo en la localidad La Arenera (área con 2 % de pendiente), se encuentra a 5 m de distancia de la línea de costa, demostrando que el aumento del nivel del mar, en ésta región, es mayor que el descrito en los valores proyectados atendiendo a los dos escenarios empleados. (Ver Anexo 2)



Fig.35 Muestra gráfica tomada en las localidades *La Arenera* y *Playa Larga* pertenecientes a municipio Ciénaga de Zapata, litoral Sur, Matanzas.



Atendiendo al estimado descrito por el escenario IS92-A, a una altitud del 2%, estaba previsto para el 2010 una penetración del mar de 24,25 m, sin embargo, a tendiendo a la evidencia gráfica, el mar penetró en 48 años 50 m, o sea 25,8 m más, lo cual equivale a una elevación de 1,04 m/año, quedando los estimados por debajo de la realidad enfocada en la región de estudio. Teniendo en cuenta esta elevación, es de esperar, de continuar así, una penetración de 520 m para el 2100.

Tal situación coincide con los reportes de estudios realizados en la región Norte de la provincia y descritos por Moya (2007), los cuales estiman un retroceso de 50 m de la línea de costa en la Península de Hicacos.

Aspecto también evidenciado en otra parte del litoral norte de la provincia donde (como se muestra en la evidencia gráfica 36) el mar avanzó en 19 años 20 m, lo cual equivale a 1,05 m/año.



Fig.36. Muestra gráfica tomada en la localidad del litoral Norte *La Salina*, municipio Martí, Matanzas.

Pero a su vez, afianza las conclusiones de la IV Evaluación del IPCC sobre Cambio Climático (2007) respecto a impactos futuros, los cuales refieren para los sistemas costeros y zonas bajas el incremento de los riesgos por aumento del nivel del mar; además constituye una muestra fehaciente de la referencia descrita por IPCC (2007 b) en cuanto a los principales cambios ocurridos en los sistemas atmosférico,



climático y biofísico de la tierra durante el siglo XX, citando que dentro de los indicadores físicos y biológicos tuvo mayor repercusión e importancia el hecho de que el nivel medio global del mar aumentó durante ese siglo, aspecto acrecentado en los que transcurre la presente centuria.

En la figura 3, se aprecia, una considerable representación de especies que sufrirán afectaciones directas ocasionadas por la intrusión marina, entre ellas se encuentran: *Cocodrilus rhombifer* (cocodrilo cubano) y *Torreomis inexpectata* (cabrerito de la ciénaga, endémico estricto) se afectarán al perder el hábitat donde coexisten; *Pseudemys decussata* (jicotea); *Mellisuga helenae* (pájaro mosca, endémico); *Agelaius assimilis* (mayito de ciénaga, endémico); *Lepisosteus tristocchus* (manjuarí, endémico de la C. Zapata, en peligro de extinción, además constituye un ictofauna); *Amazona leucocephala* (cotorra, endémico y en peligro de extinción), *Lysiloma sabcú* (sabcú); *Prunus occidentalis* (cuajaní), *Pera bumeliifolia* (jiquí); *Mucuna urens* (ojo de buey); *Manilkara jaimiquí* (ácana); *Vallisneria neotropicalis* (hierba de manatí) con la consiguiente afectación a la especie *Trichechus manatus* (manatí, endémico); *Calycophyllum candidissimum* (dagame), *Annona glabra* (bagá); *Atkinsia cubensis* (majagua negra de Cuba); *Bucida spp* (júcaros). Incidiendo además, sobre las epífitas (orquídeas) pues muchas de estas especies arbóreas constituyen el soporte de muchas *Orchidaceas*, como es del género *Encyclia*, fundamentalmente, *Encyclia fucata*, la cual Caballero *et al*, 2007, la reportan como especie restringida y poco común.

En sentido general, esta situación también incidirá de forma negativa sobre la fauna que coexiste en la región al afectarse su hábitat, lo cual provocará su emigración y aquellas especies que puedan adaptarse y subsistir en otros hábitat sobrevivirán (puedan conservarse *ex situ*), tales como: *Capromys pilorides* (jutía conga, endémico), *Epicrates angulifer* (majá de Santa María, endémico), *Amazona leucocephala* (cotorra, endémico y en peligro de extinción), *Phoenicopterus ruber* (flamenco), *Capromys prehensilis* (jutía carabalí, endémico), *Asio stygius* (siguapa, endémico), *Falco peregrinus* (halcón peregrino), *Cichlasoma tetracanthus* (biajaca), *Cyclura nubila* (iguana, endémico y en

peligro de extinción), *Colapses fernandinae* (carpintero churroso, endémico), *Grus canadensis* (grulla), *Anolis luteogulares* (chipojo, endémico); pero aquellas con un endemismo estricto enfrentarán mayores riesgos de extinción pues tal vez no tengan la posibilidad de sobrevivir al cambiar las condiciones de su hábitat, entre ellas se puede citar: *Limnothlypis swainsonii* (bijirita de Swainson, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Hemiltherus vermivorus* (bijirita gusanera, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Chamaeleolis chamaeleonides* (chipojo ceniciento, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Agelaius assimilis* (mayito de ciénaga, endémico).

Se verán afectados además los asentamientos humanos costeros tales como Playa Larga, Playa Girón, Guasaza, Bermeja, El Jiquí y Buena Ventura, entre otras.

Todo esto fue reportado por IPCC (2007) en sus conclusiones de la IV Evaluación sobre CC, donde recalca que en los estados insulares, es de esperar que el aumento del nivel del mar, aumentará las inundaciones, surgimiento de las tormentas, erosión amenazando con ello la infraestructura y asentamientos poblacionales costeros.

Tanto el estudio de fauna como el estudio de las comunidades costeras afectadas, es menester señalar, que los mismos deben ser realizados con mayor profundidad por parte de los expertos responsables de estas especialidades.

## **b) Evaluación cuantitativa.**

El impacto que el aumento del nivel del mar producirá sobre la vegetación que conforma las áreas boscosas de la EFI *Ciénaga de Zapata* para cada uno de los años del escenario IS92-A, en cuanto a las áreas totalmente perdidas por la penetración del mar y el consiguiente aumento de canales, ciénagas y lagunas es el siguiente:

Tabla.19. Total de área afectada y volumen perdido por la penetración del mar.

Años	Área total afectada (ha)	Área Acumulada (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> )
2030	4197.50	2127.30	38189.87
2050	6074.70	1877.20	52733.28
2100	15162.40	9087.70	180647.44

Para el mismo período, tomando como referencia el escenario descrito por el Instituto de Oceanología de Cuba la situación sería la siguiente:

Tabla.20. Total de área afectada y volumen perdido por la penetración del mar.

Años	Área total afectada (ha)	Área Acumulada (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> )
2030	3537.03	1968.91	31081.62
2050	5988.15	2451.12	51802.71
2100	13219.20	7231.05	159754.54

Atendiendo a la variación, la penetración del nivel del mar fijará una nueva línea de marea, afectándose la vegetación que actualmente ocupa el área.

Tomando como base el escenario IS92-A, es de esperar que producto al cambio de línea de marea, para el 2030, quedarán afectadas por aumento del nivel del mar un total de 3454,80 hectáreas, distribuidas en 3131,80 ha de manglar; 111,00 ha de bosque semicaducifolio, específicamente asociación *Lysiloma latisiliquum* + *Bursera simaruba*; quedarán afectadas 69,60 ha de la formación *Coccoloba uvifera*; 138,90 ha correspondientes a la asociación *Conocarpus erectus*+ *B. simarouba* y 3,50 ha de la formación herbazal de ciénaga.

Para el 2050, se afectarán otras 1411,80 hectáreas para un total de 4821,50 ha, de las cuales sufrirán impacto 4288,50 ha de la formación manglar; 208,30ha de bosque semicaducifolio (7,00 ha asociación *Annona glabra* + *Chrysobalanus icaco*, 4,20 ha de asociación *Bucida buceras* + *Tabebuia angustata* y 86,10 ha asociación *L. latisiliquum*+ *B. simaruba*. En ese año es de esperar la pérdida de otras 119,70 ha correspondientes a la formación *C. uvifera* y 205,00 ha de la asociación *C. erectus*+ *B. simaruba*.

Llegado el 2100, se integrarán 3544,20 hectáreas para un total de 8084,40 ha distribuidas en 7287,80 ha de mangle quedarán afectadas; 661,60 ha de bosques semicaducifolios también sufrirán daños, las cuales se distribuirán en 7,00 ha asociación *B. buceras*+ *T. angustata*; 270,70 ha *L. latisiliquum* + *B. simaruba*; 118,60 *Pithecellobium lentiscifolium*+ *Spondia mombin*; 129,80 ha *C. erecta* + *B. simaruba*; 121,80 formación *C. uvifera* y 13,20 ha correspondientes a la formación herbazal de ciénaga.

Pero como se ha planteado con anterioridad, la Península de Zapata, cuenta con el 75% de su territorio inundado o provisto de agua, no solo por la extensión cenagosa existente (35,77% de la superficie total), sino porque coexisten ríos, cenotes y canales, los cuales propician ésta situación. Un aumento del nivel del mar, al provocar un cambio en la línea de marea, también propiciará un aumento de los volúmenes o niveles de agua en las ciénagas; es por ello que 3761,90 ha de manglar en el 2100, serán impactadas; otras 2915,20 ha de bosques semicaducifolio o semideciduo se perjudicarán (1556,50 ha asociación *L. latisiliquum*+ *B. simaruba*; 228,60 ha *L. latisiliquum*+*B. simaruba*+*B. buceras*+ *T. angustata*; 102,30 ha pertenecientes a la unión *Talipariti elatum* +*Calophyllum calaba* + *Prunus occidentalis*; 1027,80 ha *B. buceras*+*T. angustata*). Otras 228,60 ha de la formación herbazal de ciénaga, quedarán dañadas.

Se debe puntualizar, que las áreas donde existen las asociaciones *L. latisiliquum*+*B. simaruba*; *L. latisiliquum*+*B. simaruba*+ *B. buceras*+*T. angustata*; *T. tilaceum* +*C. antillanum*+*P. occidentalis*, se focalizan (sobre todo en la primera asociación) la mayor parte de los bosques productores de madera.

### **Impactos causados por la ocurrencia de incendios forestales: Cálculo del carbono contenido en la biomasa afectada.**

El incremento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones, conjuntamente con la acumulación de material vegetal han provocado las condiciones propicias para la ocurrencia e incremento de los incendios forestales, casi siempre causados o provocados por el descuido de sus habitantes cercanos. Estos continúan afectando y amenazando la diversidad biológica.

Según Sorensen (1995), un aumento del carbono atmosférico y temperaturas más elevadas (primer elemento del cambio climático) provocarán que ambientes naturales de muchas especies arbóreas se extiendan a mayores latitudes y altitudes, exponiéndose los bosques sujetos a ello a un mayor daño causado por los incendios forestales, coincidiendo con las valoraciones ofrecidas por OIMT (1994) al señalar un aumento de los riesgos de ocurrencia de estos debido al acrecentamiento de las condiciones para que ocurran, pues temperaturas elevadas conjuntamente con el cúmulo de biomasa depositada en el suelo serían una situación propicia para la combustión de estas (biomasa).

En el trópico una fracción significativa de la variabilidad interanual de la acumulación de CO<sub>2</sub> es causada por los incendios (Herman, 2007).

Entre los impactos asociados al CC en el sector forestal se encuentra el incremento de la ocurrencia de incendios forestales.

Precisamente estos, han estado presente desde tiempos remotos en muchas áreas del mundo como un elemento de la dinámica ambiental y como regulador del crecimiento y renovación de diversos ecosistemas naturales. El comportamiento de las pérdidas ocasionadas por ellos, guarda una estrecha relación con la topografía del área afectada, el tipo de estructura vegetal, tiempo de recuperación de la vegetación y porcentaje del daño de la cubierta (Cuerpo Guardabosque, 2006)

Durante el año 2007 ocurrieron un total de 257 incendios, produciéndose 242 en febrero, localizándose la mitad en las provincias Pinar del Río, Matanzas (zona occidental del país), Cienfuegos y Villa Clara (zona central), siendo los meses de mayor peligro de ocurrencia marzo y abril (Cuerpo Guardabosque -CGB, 2008).

CITMA de la Península de Zapata y el Departamento de Silvicultura y Ordenación de la EFI reconocen que de un total de 214 incendios ocurridos entre 1982 a 1993, entre 1994 a 2004 estos se han duplicado y extendido, pues anteriormente solo ocurrían en la formación herbazal de ciénaga, pero en la actualidad han incidido sobre los bosques subperennifolios, dándose cambios en la vegetación.

Por esta causa se realiza una estimación con relación a este aspecto.

Según Fuentes (2007) en EFI Ciénaga de Zapata, el promedio anual de área afectada por incendios ocurridos entre 2001 y 2007 fue 6033,57 ha, valor que supera el estimado anual de áreas boscosas afectadas dado por Centella et al (2001) consistente en 5000 ha y que reafirma los planteamientos del Cuerpo de Guardabosque de Cuba (2008) al referir a la provincia Matanzas como una de las regiones con mayores afectaciones por este concepto, constituyendo, según Jiménez (2006) uno de los factores de elevada incidencia

En la siguiente tabla y figura se registran indicadores de este factor:

Tabla.23. Cantidad de incendios ocurridos entre 2001 - 2007 y área afectada.

Indicador	U/M	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Cantidad de incendios ocurridos	Uno	5	17	10	12	25	11	9
Área afectada	Ha	3050	16042	4340	2520	9219	1020	6044
Bosque natural afectado	Ha	250	7820	340	120	821	82	630.6

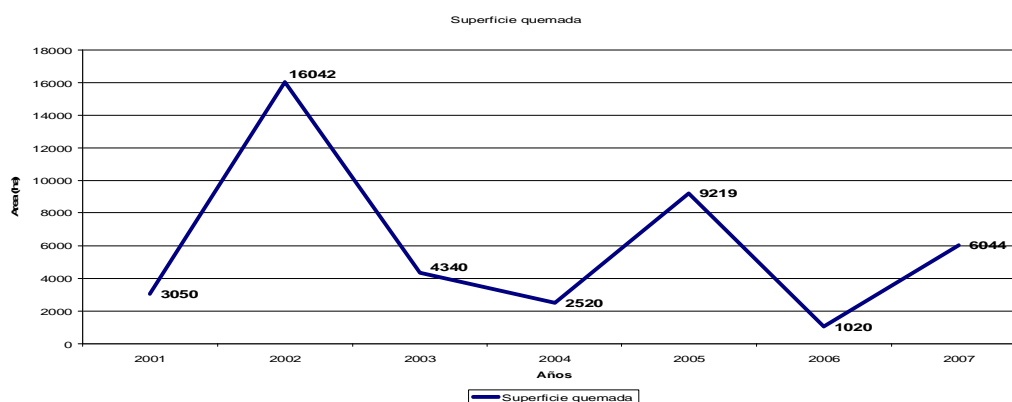


Fig. 37. Comportamiento de los incendios forestales en cuanto al área afectada.

Como se muestra en la Fig.37, los incendios forestales (durante el período evaluado) han mostrado una tendencia a disminuir la extensión territorial o superficie afectada gracias a la estrategia elaborada por la Empresa para minimizar los daños, mediante un control exhaustivo, la creación de una brigada contra incendios, así como realizar las trochas contrafuego en el tiempo requerido.

Los intervalos 2002, 2005 y 2007 constituyeron los años de mayor afectación en cuanto a extensión territorial, siendo 2002 el de mayores proporciones, aspecto influenciado por la escasa precipitación ocurrida en ese año la cual creó las condiciones propicias para la incidencia de un daño de tal magnitud, correspondiendo 33% de las emisiones a los bosques naturales, tal aspecto también ha sido reportado por Solomon *et al* (2007) al referir que el resultado del incremento de la temperatura y disminución en la precipitación incidieron en un aumento en el área de bosques quemadas en EUA y Canadá, pues según estadísticas del USA Nacional Interoagency FIRE Center, en el

2006 el período de incendio envolvió 4 millones de hectáreas más que cualquier año en los pasados 65 períodos de incendio.

Durante el año 2006 se afectó 0,23% (1020,00 ha) del área total de la EFI, emitiéndose en ese año 17792,88 Mg de carbono, de las cuales 1430,41 Mg se centran en los bosques naturales.

En el 2007 se afectó 1,38% (6044,00 ha) del área de la Empresa, emitiéndose 105431,53 MgCO<sub>2</sub>, correspondiendo un 9% a los bosques naturales (Método I: método de Herbert citado por CGB, 2006) a 497844,28 MgCO<sub>2</sub> (Método II: metodología Mercadet y Álvarez, 2006).

Teniendo en cuenta la superficie media anual quemada (6033,57 ha) la Empresa emitió 105249,60 Mg – 413480,55 Mg (método I) equivalente a 0,24 MgCO<sub>2</sub>/ha – 0,95 MgCO<sub>2</sub>/ha; al aplicar el método II se registra una emisión de 496958,16 Mg equivalente a 0,24 MgCO<sub>2</sub>/ha - 1,14 MgCO<sub>2</sub>/ha de la superficie total de la Entidad, representando 0,30% a 1,40% del carbono retenido en la biomasa y 0,48% a 2,27% del carbono retenido en la biomasa aérea por la EFI.

Atendiendo al método I, la EFI entre 2001 al 2007 emitió 17,44 MgCO<sub>2</sub>/ha/año (1,48% del carbono retenido total). Sin embargo, considerando el método descrito por Mercadet y Álvarez (2006), en ese período, es emitido 82,37 MgCO<sub>2</sub>/ha anualmente (6,39% del carbono retenido total) y aunque disten los estimados entre los dos métodos, ambos coinciden en reportar que 8% de las emisiones ocurren en los bosques naturales.



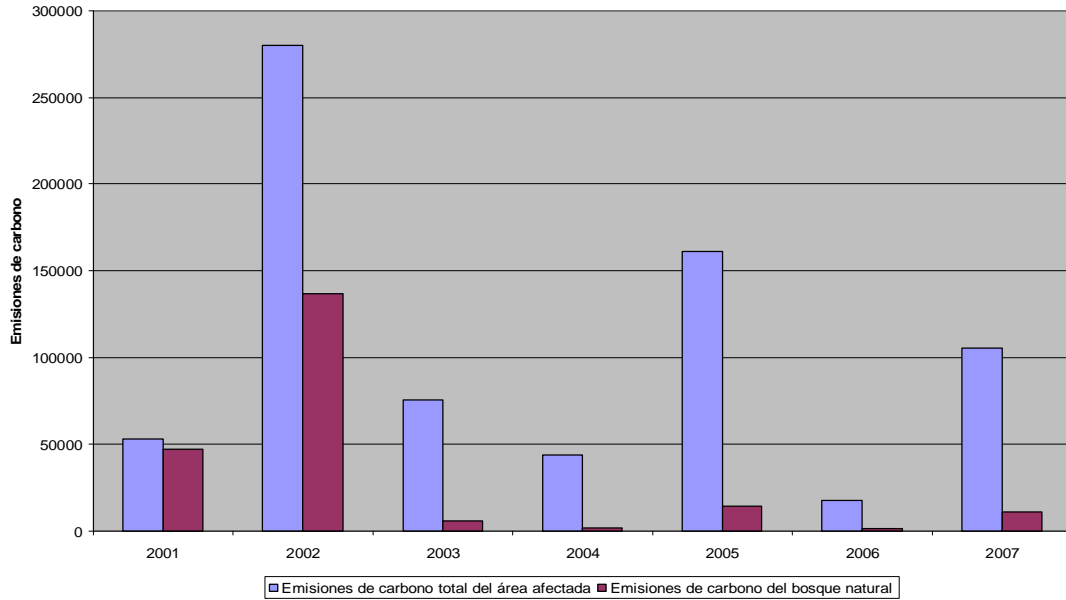


Fig.38. Emisiones de carbono causadas por los incendios forestales de acuerdo al método descrito por Cuerpo de Guardabosque (2008).

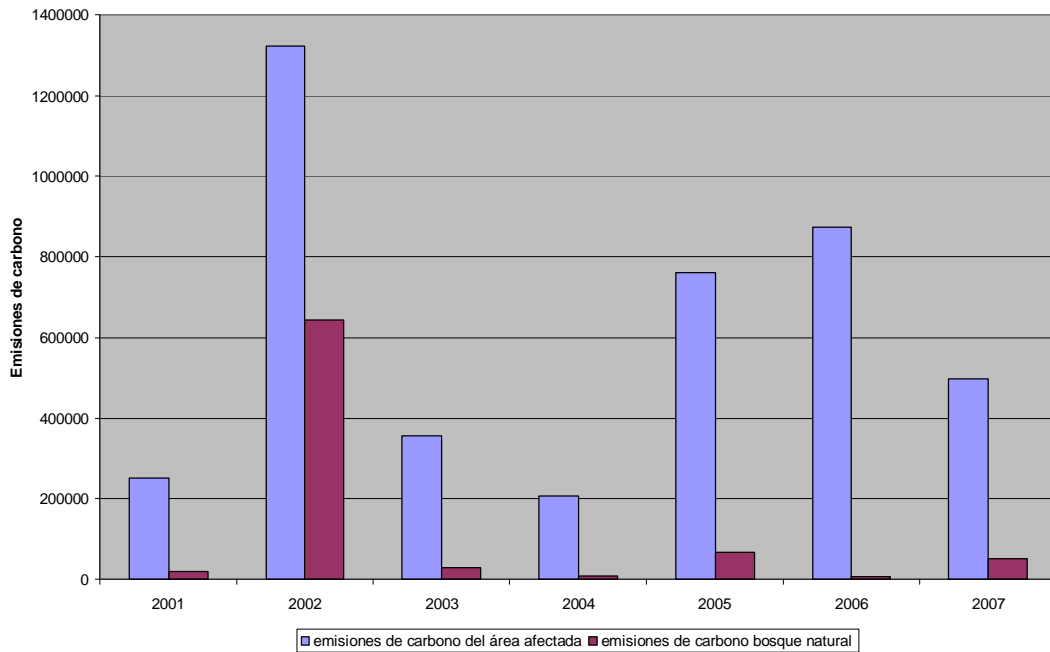


Fig.39. Emisiones de carbono causadas por los incendios forestales de acuerdo al método descrito por Mercadet y Álvarez (2006).

Pero el CO<sub>2</sub> no es el único componente de la combustión de la vegetación ya que ésta tiene implícito otros elementos principales que causan efectos negativos sobre la calidad del aire, tales como el monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y partículas.

El metano y el óxido nitroso, conjuntamente con el CO<sub>2</sub>, constituyen algunos de los componentes químicos de la atmósfera que permiten absorber parte de la radiación térmica llegada a la superficie terrestre y que como el último mencionado, se han incrementado contribuyendo al calentamiento terrestre (Solomon *et al*, 2007).

En el período 2001-2007, EFI Ciénaga de Zapata, emitió teniendo en cuenta la superficie media afectada y atendiendo al I método 24834.17 Mg – 97562.83 Mg de CO; 5237.17 Mg – 20574.47 Mg de hidrocarburos (CH<sub>4</sub>) e igual cantidad de partículas emitidas.

Al aplicar el método referido por Álvarez (2009), la Empresa en el período que se evalúa emitió anualmente a la atmósfera 8,15 MgCO<sub>2</sub>eq/ha, rango que se encuentra entre los estimados de quema de biomasa por causas antrópicas en los humedales naturales, según Schlesinger (2007).

Tan solo en el año 2002, con un mayor número de áreas afectadas, los bosques naturales impactados expulsaron 13049,23 MgCO<sub>2</sub>eq, siendo emitidas 218,02 Mg de metano, y si no es menos cierto que aproximadamente 80% de los incendios forestales en Cuba son ocasionados por causas antrópicas, es menester tener en cuenta que una molécula de CH<sub>4</sub> emitido a la atmósfera, según Schlesinger (2007) puede contribuir hasta 25 veces más que una molécula de CO<sub>2</sub> al calentamiento por efecto invernadero a tal punto que según referencias de Houghton (1997) el efecto causado por una molécula de CH<sub>4</sub> es alrededor de 7,5 veces más que el efecto causado por una molécula de CO<sub>2</sub>. Además en las últimas décadas la concentración de metano ha aumentado con una tasa media anual, entorno al 1% mucho más rápida que la tasa de dióxido de carbono. Se debe agregar, que en los humedales naturales las emisiones de este gas son mayores en el período cálido pues los

humedales emiten naturalmente, por descomposición anaeróbica, entre 30 a  $80 \times 10^{12}$  gCH<sub>4</sub>/año (Schlesinger, 2007).

Continuando como referencia el año 2002, en Ciénaga de Zapata se emitieron 447,25 MgCH<sub>4</sub>, lo cual representa 4,25 % de las emisiones de este gas ocurridas en Cuba durante ese año (10,53Gg según reportes referidos por Álvarez, 2009).

Otro GEI de importancia es el monóxido de carbono, y aunque es resultante de las reacciones químicas del CO<sub>2</sub> y de las afectaciones de la cantidad de radicales hidroxilos (OH) incidentes en la concentración de CH<sub>4</sub> (Houghton, 1997), presenta un efecto de invernadero indirecto pues (según referencias del autor anterior) su acción química sobre los GEIs (metano y ozono) tiene una influencia sobre la proporción o cantidad de los mismos contribuyendo al calentamiento atmosférico.

En el 2002, las emisiones ocurridas en el área de estudio representaron 7,42% del monto emitido en ese año en Cuba (92,18Gg, según reporta Álvarez, 2009) con 6840,31 MgCO en 16042 hectáreas afectadas, de las cuales 3334,45 MgCO corresponden a los bosques naturales (3,62 % del país).

A continuación se muestran los estimados de emisiones de GEI en el área y período evaluado:

Tabla.24. Estimaciones de GEI (Mg) emitidos durante el período 2001-2007.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bosque natural afectado (ha)	250	7820	340	120	821	82	630,6
CO <sub>2</sub>	1619,50	50657,96	2202,52	777,36	5318,44	531,20	99,60
CO	106,60	3334,45	144,98	51,17	350,06	34,94	6,55
CH <sub>4</sub>	6,97	218,02	9,48	3,34	22,89	2,28	0,43
N <sub>2</sub> O	0,21	6,41	0,28	0,098	0,67	0,07	0,013
Área total afectada (ha)	3050	16042	4340	2520	9219	1020	6044
CO <sub>2</sub>	19757,9	103920,07	28114,52	16324,56	59720,68	6607,56	39153,03
CO	1300,52	6840,31	1850,58	3939,94	3930,98	434,93	9449,59
CH <sub>4</sub>	85,03	447,25	120,99	70,26	257,02	28,44	617,87
N <sub>2</sub> O	2,50	13,15	3,56	7,59	7,56	0,84	18,19

Tabla. 25. Estimaciones de CO<sub>2</sub> equivalente (Mg) emitidos durante el período evaluado.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bosque natural afectado (ha)	250	7820	340	120	821	82	630,6
CO <sub>2</sub>	1619,50	50657,96	2202,52	777,36	5318,44	531,20	99,60
CO	390,87	12226,32	531,59	187,62	1283,55	128,11	24,02
CH <sub>4</sub>	25,56	799,41	34,76	12,25	83,93	8,36	1,58
N <sub>2</sub> O	0,77	23,50	1,03	0,36	2,46	0,26	0,05
Total MgCO <sub>2</sub> eq	2036,70	13049,23	2769,89	977,59	6688,38	667,93	125,25
Área total afectada (ha)	3050	16042	4340	2520	9219	1020	6044
CO <sub>2</sub>	19757,9	103920,07	28114,52	16324,56	59720,68	6607,56	39153,03
CO	4768,57	25081,14	6785,46	3939,94	14413,59	1594,74	9449,59
CH <sub>4</sub>	311,78	1639,92	443,63	257,62	942,41	104,28	617,87
N <sub>2</sub> O	9,17	48,22	13,05	7,59	27,72	3,08	18,19
Total MgCO <sub>2</sub> eq	24847,42	130689,34	35356,66	20529,71	75104,40	8309,66	49238,68

## **Estrategia de adaptación para el sector forestal.**

Atendiendo a que la EFI *Ciénaga de Zapata* se caracteriza por bosques productores, protectores y de manejo especial, se debe trazar una estrategia de adaptación basada en la consideración de estos importantes aspectos, así como en el grado de afectación previsto en cada momento para esas áreas de su patrimonio.

Para las áreas protectoras o bosques protectores y en especial, para las de manejo especial, será preciso acometer la conservación *ex situ* de aquellas especies de particular interés florístico, según CITMA C. de Zapata (2007), tales como: *Albizzia cubana* (bacona); *Atkinsia cubensis* (majagua negra de Cuba); *Dendrocereus nudiflorus* (aguacate cimarrón); *Lysiloma sabicú* (sabicú); *Manilkara jaimiquí* (jaimiquí); *Conocarpus erectus* (yana); *Calycophyllum candidissimum* (dagame); *Diospyros crassinervis* (ébano carbonero) y *Prunus occidentalis* (cuajaní) entre otras, cuyas existencias físicas en su mayoría para el año 2100 se verán severamente comprometidas. Es primordial la recolecta de simientes para su establecimiento y conservación en jardines botánicos y de esta forma asegurar la protección y conservación de estas fuentes originales que se encuentran en peligro de deterioro o de extinción.

Aquellas superficies que integran los bosques productivos semicaducifolios y parte de las plantaciones que paulatinamente serán convertidas en manglares o quedarán bajo las aguas, debe orientarse su manejo hacia el aprovechamiento priorizado y planificado de los recursos forestales madereros y no madereros en ellas existentes, así como adoptar medidas de protección con los recursos genéticos de aquellas especies de interés económico, entre las que se puede citar la localización de sus existencias, la recolección de sus semillas y la producción de plántulas destinadas al enriquecimiento de estas formaciones boscosas en otros territorios o a la formación de plantaciones especializadas en la producción de semilla en otros lugares, teniendo en cuenta para ello, aquellas especies capaces de continuar aprovechando fotosintéticamente el CO<sub>2</sub> a

pesar de que aumenten las concentraciones del mismo, tales como *R. mangle*, *S. morotoni*, *T. catappa* sobre todo esta última que junto a *T. tilaceum* mostró puntos de asimilación máxima de carbono elevados, es decir, que aprovecha con mejor eficiencia el carbono u otras como *C. peltata*, *B. buceras* y *L. latisiliquum*, que muestran variabilidad intraespecífica en el comportamiento de la asimilación de este GEI.

Las áreas donde se aplique esta estrategia deberán ser previamente identificadas, evaluadas y analizados los posibles riesgos de éxito del proceso, en base a sus condiciones específicas actuales; además todas estas acciones deberán ser incorporadas al proyecto de ordenación forestal de la Entidad.

### **PARTE III. Mitigación.**

#### **Estimado de la biomasa a partir del volumen de madera y Carbono retenido por las plantaciones.**

Los árboles y bosques juegan un rol crucial en la regulación del clima. Los árboles remueven el CO<sub>2</sub> de la atmósfera a través de la fotosíntesis y almacenan el carbono en carbohidratos, lignina y celulosa. El carbono es retenido en la biomasa (troncos, ramas, follaje, raíces, etc.) y como carbono orgánico en el suelo (Rollinson, 2007).

La biomasa formada por las formaciones vegetales está relacionada con las condiciones ecológicas donde se desarrolle cada especie, las características intrínsecas de las mismas y del manejo que se le realice. Es muy común utilizar para su estimación métodos destructivos donde se talan una serie cantidad de árboles, encareciendo, por tanto, las investigaciones. Por tal motivo, en este estudio se realiza el estimado de la biomasa a partir del volumen maderable reportado por el departamento de Silvicultura y Ordenación de la Empresa, empleando de esta manera un método indirecto.

Las plantaciones de la EFI *Ciénaga de Zapata*, atendiendo a la dinámica forestal del 2006, abarcan una superficie total de 6563,60 ha, de las cuales 4266,80 ha corresponden a plantaciones adultas (más de 10 años de edad) con un Incremento Medio Anual (IMA) en volumen maderable de 3 m<sup>3</sup>/ha/año a 4 m<sup>3</sup>/ha/año. Otras 2296,80 ha corresponden a plantaciones jóvenes (3-10 años de edad).

### **Plantaciones adultas (mayor 10 años).**

Las plantaciones adultas en 4266,80 ha de superficie cubierta cuentan con un volumen total de 260049,85 m<sup>3</sup> equivalente a un volumen medio de 60.95 m<sup>3</sup>/ha.

Atendiendo a los resultados obtenidos mediante la aplicación de la primera metodología, ésta área boscosa, teniendo en consideración su extensión territorial, aporta 70.17 Mg/ha de biomasa total (299398.88 Mg), correspondiendo 172068,32 Mg a biomasa de fuste, destacándose *Casuarina equisetifolia* y *Calophyllum calaba* al registrar la mayor cantidad de biomasa total por hectárea con 253.20 Mg/ha y 187.57 Mg/ha respectivamente. De dicha porción, 145.52 Mg/ha y 107.80 Mg/ha corresponden a biomasa de fuste. En un estudio realizado por Rodríguez (2005) en los suelos correspondientes a EFI La Palma, Pinar del Río, la especie *C. calaba* acumuló una biomasa total de 94.48 Mg/ha.

Al aplicar la segunda metodología, este tipo de plantación en la superficie ocupada, cuantificó en la parte aérea 184255,21 Mg de las cuales, conjuntamente con la biomasa de fuste, rindieron 257313,71 Mg de biomasa total (60,31 Mg/ha). Esta vez, *C. equisetifolia* presentó 253.20 Mg/ha y *C. calaba* 187.57 Mg/ha de biomasa en la parte aérea; con biomasa total de 329.17 Mg/ha y 243.84 Mg/ha individualmente (Fig.23). En un estudio realizado por Almeida (2006) en una parcela de 19 años de edad en esta zona de evaluación, la especie *C. calaba* acumuló 75,56 Mg/ha de biomasa total (Almeida, 2006); no obstante este resultado diferencial, los reportes obtenidos con *Cedrela odorata* son similares, pues en este trabajo la especie mostró 35.91 Mg/ha de biomasa total mientras Almeida (2006) reportó 38.84 Mg/ha.



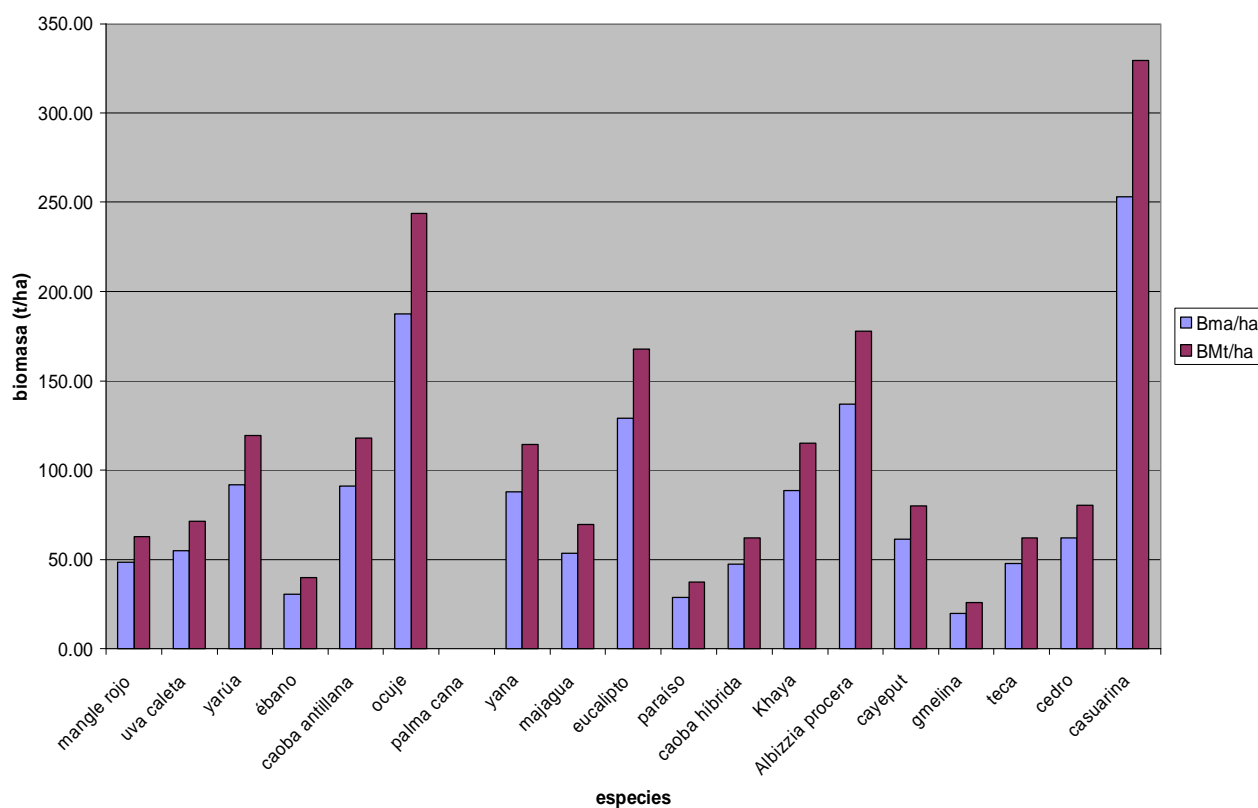


Fig.40. Reporte de biomasa aérea y biomasa total (Mg/ha) presentada por las especies

*T. tilaceum*, una de las especies que conforma parte de la asociación *T. tilaceum* +*C. calaba*+ *P. occidentalis* y que sufrirá un gran impacto por el aumento del nivel del mar y constituye además, uno de los ejemplares arbóreos que registró una mayor asimilación máxima de carbono, presentó entre 53.47 Mg/ha (primera metodología) a 69.51 Mg/ha (segunda metodología) de biomasa total.

Los resultados específicos aparecen en Anexos 3, 3.A.

Feldpausch *et al* (2004), reportan en plantaciones adultas del Amazonas 128.1 Mg/ha de biomasa, resultado superior al registrado en el estudio, lo cual confirma los planteamientos realizados por Sánchez *et al* (2003) al señalar que la respuesta de las plantas dependen de muchos factores, tanto internos (especie, ecotipo, estadio de desarrollo, etc), como externos (factores bióticos y abióticos)

Por las características de las plantas verdes de absorber o retener el dióxido de carbono para emplearlo como “sustrato” en el proceso de fotosíntesis, los árboles son considerados entes sumideros de carbono.

Las plantaciones adultas o establecidas en el área de estudio, retienen en su biomasa 134729.49 Mg de carbono, sobresaliendo en aporte de biomasa, las especies *R. mangle* con un total de 56862.13 Mg y *Khaya spp* con 29230.72 Mg, factor influenciado por constituir los ejemplares arbóreos de mayor representatividad o extensión territorial (2619,8 ha y 734,5 ha). Sin embargo, *C. equisetifolia* y *C. calaba* concentran a nivel de hectárea, la mayor cantidad de carbono retenido en su biomasa total con 113.94 MgCO<sub>2</sub>/ha y 84.41 MgCO<sub>2</sub>/ha (17.54% y 12.99%) con un Incremento Medio Anual (IMA) de carbono retenido de 1.60 Mg/ha/año a 2.13 Mg/ha/año en *C. equisetifolia* y 1.29 Mg/ha/año a 1.72 Mg/ha/año en *C. calaba*. Tales resultados fueron obtenidos mediante la primera metodología donde se considera un 45% de contenido de carbono en la madera, método altamente empleado a escala internacional.

Al utilizar la segunda metodología, teniendo en cuenta un factor de contenido medio de carbono en la madera y un factor de expansión específico, en las 4266,80 ha de superficie, se retuvo en la biomasa 184255.21 MgCO<sub>2</sub>, correspondiendo 141734.78 MgCO<sub>2</sub> a biomasa aérea.

Esta vez, *C. equisetifolia* retuvo 119.39 MgCO<sub>2</sub>/ha (16.49%) mientras *C. calaba* registró 91.44 MgCO<sub>2</sub>/ha (12.63%) en la biomasa aérea, para 155.20 MgCO<sub>2</sub>/ha y 118.87 MgCO<sub>2</sub>/ha de biomasa total respectivamente (Fig. 24), coincidiendo con los reportes ofrecidos por Rodríguez y Lawrence (1997) con la especie *C. equisetifolia*, en un estudio realizado en plantaciones en Nicaragua. En esta ocasión el IMA de carbono retenido en la biomasa osciló entre 2.18 MgCO<sub>2</sub>/ha/año a 2.90 MgCO<sub>2</sub>/ha/año en *C. equisetifolia* y 1.82 MgCO<sub>2</sub>/ha/año a 2.43 MgCO<sub>2</sub>/ha/año en *C. calaba*.

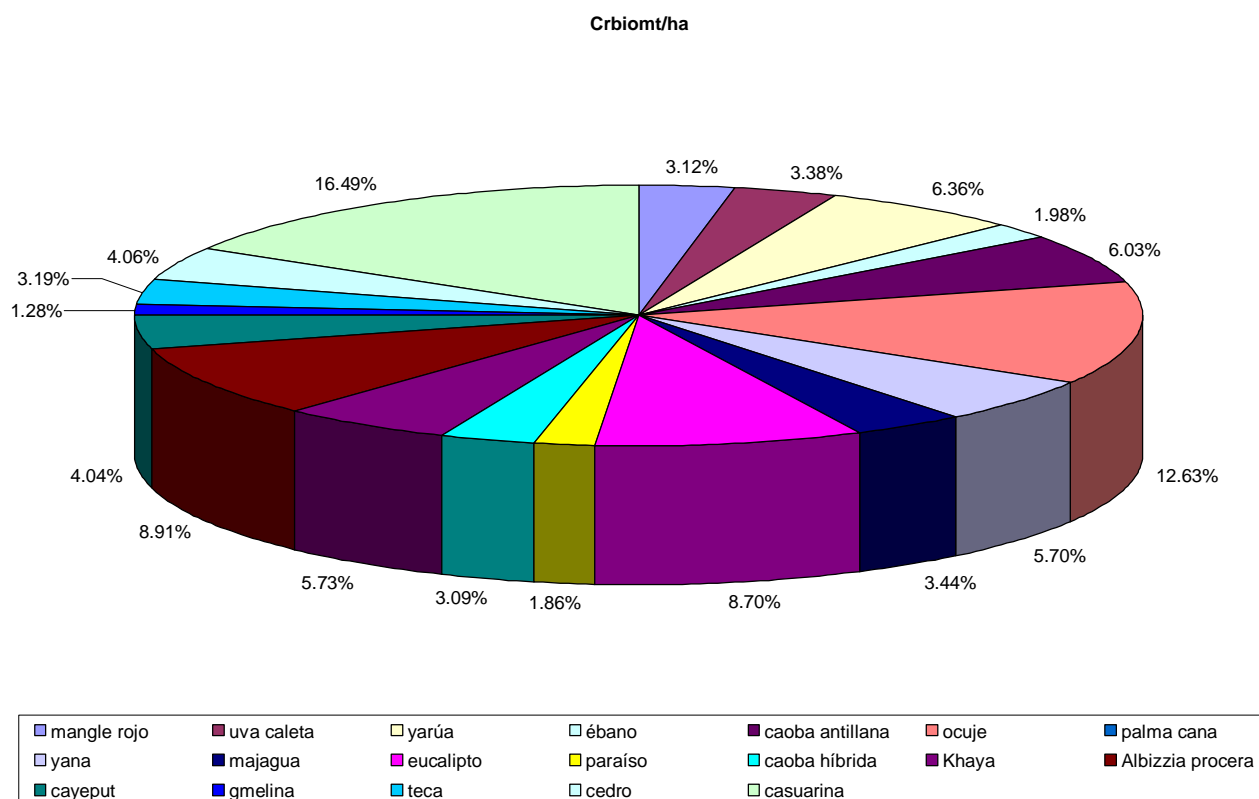


Fig. 41. Carbono retenido en la biomasa total (Mg/ha) de las plantaciones adultas.

*T. tilaceum* retuvo en su biomasa, 24,06 MgCO<sub>2</sub>/ha (primera metodología) a 32.39 MgCO<sub>2</sub>/ha donde 24.92 MgCO<sub>2</sub>/ha se almacenaban en la biomasa aérea (segunda metodología).

Por otra parte los valores inferiores fueron registrados por la especie *Gmelina arborea* con 11.49 Mg/ha de biomasa total; 6.61 t/ha biomasa de fuste; 5.17 MgCO<sub>2</sub>/ha de carbono retenido (en la primera metodología). Atendiendo al segundo método, la especie registraba 9.29 Mg CO<sub>2</sub>/ha en su biomasa aérea y 12.08 Mg CO<sub>2</sub>/ha en la biomasa total.

Las plantaciones adultas presentan un carbono total retenido entre 154.58 Mg CO<sub>2</sub>/ha a 166.40 Mg CO<sub>2</sub>/ha (primera y segunda metodología), acumulando entre 43.52% y 53.02% del carbono retenido por la biomasa forestal en Cuba durante el 2005

(347.00Mt) según cifras del PNUD (2007), lo cual incrementa la importancia ecológica de la Península de Zapata.

Los valores de carbono total retenido en ambas metodologías se encuentran entre las cuantías descritas por Kaninen (2000), el cual citaba que las plantaciones en Costa Rica retenían un carbono entre 60 Mg/ha y 230 Mg/ha o entre 25 Mg/ha y 190 Mg/ha respectivamente.

Respecto a los valores obtenidos en el estudio con relación al IMA del carbono retenido, cabe señalar que los mismos se encuentran entre los rangos citados por la FAO (2006) donde se comunica una captura entre 2 Mgcarbono/ha/año y 9 Mgcarbono/ha/año.

En un estudio realizado por Ortiz *et al* (2006), empleando la primera metodología, sobre suelos cenagosos en áreas de la EFI Matanzas, la especie *C. calaba*, retuvo entre 37.21 Mg CO<sub>2</sub>/ha a 212.55 Mg CO<sub>2</sub>/ha, mientras que *C. equisetifolia* inmovilizó 168.19 Mg CO<sub>2</sub>/ha. En la investigación realizada por Cordero *et al* (2004) en áreas de la EFI Mayabeque, donde se aplicó la segunda metodología, *C. equisetifolia* retuvo en su biomasa total 244 Mg CO<sub>2</sub>/ha, representando 38.4% del carbono retenido; *C. calaba* 178.39 Mg CO<sub>2</sub>/ha y *G. arborea* 225 Mg CO<sub>2</sub>/ha.

Por tanto se infiere que la cantidad de carbono retenido en una especie depende de sus características propias, las características del sitio y su manejo silvícola, demostrando lo planteado por Azcón-Bieto (2003), así como los resultados obtenidos en el plano fotosintético en el estudio, donde se refleja que la asimilación y retención de carbono obedece a las particularidades de cada variedad así como las condiciones ecológicas donde estas se desarrollen.

Los valores específicos se muestran en Anexos 3.B, 3.C.

### **Plantaciones jóvenes (entre 3 -10 años).**

Las plantaciones jóvenes presentaron un volumen de 13391,42 m<sup>3</sup> en una superficie de 2296,80 ha, equivalente a 4,24 m<sup>3</sup>/ha de volumen maderable medio.

Esta área boscosa registró una biomasa de fuste igualada a 8361,17 Mg para una biomasa total de 14548,43 Mg.

Nuevamente atendiendo a la superficie ocupada, las especies *Casuarina equisetifolia* y *Khaya spp* constituyeron las de mayores aportes con 6466,61 Mg y 3098,82 Mg de biomasa total en 272,00 ha y 383,50 ha respectivamente. Sin embargo, *C. equisetifolia* y *Colubrina arborescens* mostraron los mayores partes con 13.60 Mg/ha y 5.90 Mg/ha de biomasa de fuste, equivalentes a una biomasa total de 23.66 Mg/ha y 10.26Mg/ha respectivamente.

Estos resultados fueron obtenidos mediante la aplicación de la primera metodología.

*T. elatum* registró 2.29 Mg/ha de biomasa total (primera metodología) a 5.14 Mg/ha, correspondiendo 3.95 Mg/ha a biomasa aérea (segunda metodología).

Con el segundo método, las plantaciones en establecimiento presentaron 14889.99 Mg de biomasa aérea, las cuales sumadas a la biomasa de fuste rindieron 19356.99 Mg de biomasa total.

Los resultados obtenidos se aprecian en Anexos 4, 4.A.

Analizando el carbono retenido en la biomasa, las plantaciones jóvenes, retuvieron 6546.80 MgCO<sub>2</sub> (primera metodología) a 9157.61 MgCO<sub>2</sub> (segunda metodología) equivalentes a 125.85 MgCO<sub>2</sub>/ha – 127.02 MgCO<sub>2</sub>/ha de carbono retenido total. Si se analiza este valor se aprecia que las plantaciones en sus primeros años de vida logran retener una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> con relación a cuando alcanzan el grado de madurez, pues en este período (plantaciones adultas) retuvieron 28,73 MgCO<sub>2</sub>/ha adicionales, por lo que se asevera los criterios dados por Rollinson (2007) al referir que

en los bosques jóvenes el carbono retenido es en tasas más elevadas durante los primeros estadios de vida, que en los bosques maduros, siendo en estos los niveles más bajos.

En el estudio se destacan *C. equisetifolia* y *C. arborescens* con 10.65 MgCO<sub>2</sub>/ha y 4.62 MgCO<sub>2</sub>/ha correspondientemente (primera metodología) con un IMA de 1.60 MgCO<sub>2</sub>/ha/año a 2.13 MgCO<sub>2</sub>/ha/año y 2.35 MgCO<sub>2</sub>/ha/año – 3.13 MgCO<sub>2</sub>/ha/año de carbono retenido en la biomasa (metodología 1), conservando en la biomasa aérea 11.16 MgCO<sub>2</sub>/ha y 7.26 MgCO<sub>2</sub>/ha para un IMA de 1.67 MgCO<sub>2</sub>/ha/año – 2.23 MgCO<sub>2</sub>/ha/año en *C. equisetifolia*; 3.69 MgCO<sub>2</sub>/ha/año- 4.92 MgCO<sub>2</sub>/ha/año en *C. arborescens*. Las especies almacenaron 14.50 MgCO<sub>2</sub>/ha y 9.44 MgCO<sub>2</sub>/ha en la biomasa total, presentando un IMA entre 2.18 MgCO<sub>2</sub>/ha/año- 2.90 MgCO<sub>2</sub>/ha/año en la primera especie citada, y 4.79 MgCO<sub>2</sub>/ha/año- 6.39 MgCO<sub>2</sub>/ha/año en la segunda especie referida (metodología 2). (Fig.25).

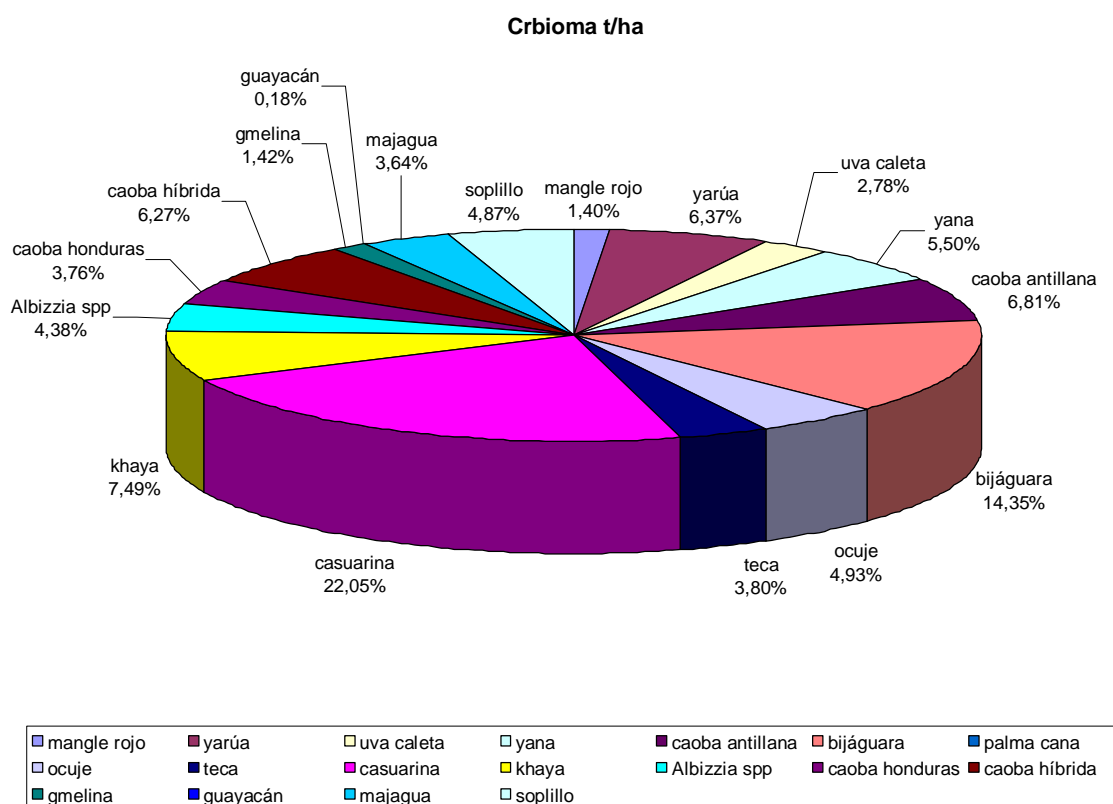


Fig.41. Carbono retenido en la biomasa total (Mg/ha) de las plantaciones jóvenes.

Respecto al IMA, Feldpausch *et al* (2004) reporta un incremento de 11.0 Mg/ha/año de carbono retenido en ejemplares jóvenes que conforman un bosque secundario en el Amazonas, por lo que se denota que los resultados obtenidos en la evaluación presentan una secuencia lógica y a su vez, reafirman los planteamientos ofrecidos por Azcón-Bieto (2003) y Houghton (1997).

*T. tilaceum* retuvo 1.03 MgCO<sub>2</sub>/ha en la biomasa total (primer método) a 5.14 MgCO<sub>2</sub>/ha, donde 1.84 MgCO<sub>2</sub>/ha se retenían en la biomasa aérea (segundo método). La especie *Guaiacum officinale* presentó los reportes inferiores con 0.12 t/ha de biomasa total (primera metodología) y 0.05 MgCO<sub>2</sub>/ha a 0.09 MgCO<sub>2</sub>/ha de carbono retenido en la biomasa aérea, lo cual equivale 0.12 MgCO<sub>2</sub>/ha de carbono retenido en la biomasa total (0.18% del carbono retenido por las plantaciones). Hay que considerar que este ejemplar constituye una especie de crecimiento lento, es decir (de acuerdo con los principios fisiológicos descritos por Portillo, 1965 y LLimona, 1967), el ejemplar presenta una menor velocidad relativa de crecimiento y por tanto necesita de una unidad de tiempo más prolongada para incrementar su materia sólida o biomasa; además dicha velocidad de crecimiento también mostrada en su área foliar constituye un factor influyente en la cantidad de carbono retenido pues según los propios autores citados con anterioridad, las plantas formadas con menos estratos de hojas absorben menos proporción de energía luminosa incidente, lo cual contribuye a disminuir la fotosíntesis y por tanto la asimilación de CO<sub>2</sub>.

En sentido general, los valores obtenidos en las plantaciones (adultas y jóvenes) demuestran los planteamientos dados por Bravo *et al* (2008) al inferir que el carbono almacenado varía con la composición de especies y edad de las mismas, pues las diferencias existentes pueden ser explicadas por la tasa de crecimiento, la forma de fuste y la longevidad de la masa arbórea. Además los árboles jóvenes, tienden a presentar mayores niveles de carbono, y aunque los árboles adultos toman el carbono en niveles más bajos, almacenan una cantidad más extensa de carbono por hectárea (Le May y Kurz, 2008; Bravo *et al*, 2008 a).

Los resultados específicos aparecen en Anexos 4.B, 4.C.

La fracción de carbono, como se ha podido apreciar, es variable entre la gama de especies que conforman el ente arbóreo. Pero esta diferencia no solo se limita a la especie en sí, dentro de ella como individuo existe diferenciación en cuanto al coeficiente de carbono presente tanto en la madera como en la corteza. Ejemplo de ello se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla.26. Valores porcentuales medios del carbono contenido en corteza y madera de algunas especies forestales de mayor interés y representatividad.

Especie	% C en madera	% C en corteza
<i>Talipariti elatum</i> (majagua)	45.29	40.58
<i>Cupania glabra</i> (guara o guarana)	45.36	46.90
<i>Busera simaruba</i> (almácigo)	45.56	42.37
<i>Erythroxylon spp</i> (arabo)	45.41	45.31
<i>Gerascanthus gerascanthoides</i> (baría)	44.92	38.58
<i>Oxandra lanceolata</i> (yaya)	46.19	45.94
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (soplillo)	44.04	45.48
<i>Tabebuia angustata</i> (roble)	47.16	46.43
<i>Gymnanthes lucida</i> (yaití)	45.53	41.67
<i>Coccoloba uvifera</i> (uva caleta)	44.65	45.00
<i>Nectandra coariacea</i> (sigua)	46.08	46.01
<i>Sideroxylon foetidissimum</i> (jocuma)	45.75	46.81
<i>Eugenia buxifolia</i> (guairaje)	45.66	45.24



En cuanto a contenido de carbono en corteza, por ejemplo, las especies *Cupania glabra* (guara); *Sideroxylon foetidissimum* (jocuma) y *Tabebuia angustata* (roble) presentaron los mayores valores porcentuales, sin embargo en cuanto al contenido en la madera priman *Tabebuia angustata* (roble); *Oxandra lanceolata* (yaya) y *Nectandra coriacea* (sigua). Esto puede deberse a la fisiología vegetal de las plantas, pues estas especies se caracterizan por presentar múltiples estratos de hojas, lo cual posibilita absorber una mayor proporción de la energía luminosa incidente sobre ella, aspecto que demuestra lo planteado por Bonner y Galston (1965); en el primer caso son especies que se caracterizan por presentar una corteza de paredes gruesas, con pequeños espacios huecos en los cuales son capaces de almacenar el carbono. En la madera la superioridad porcentual en las especies mencionadas puede deberse a que en consideración con los principios fisiológicos expuestos por Portillo (1965) la formación fotosintética de los azúcares en la hoja produce una elevada concentración osmótica en sus células, lo que origina una absorción de agua e incremento de la presión de turgencia sobre el contenido celular; debido a esto, la solución que contiene azúcares y otros solutos es expulsada de las células alcanzando los vasos cribosos; la presión ejercida por las células de las hojas empuja la solución por los tubos cribosos y finalmente, hasta el protoplasma de las células receptoras, donde se consumen los azúcares para el crecimiento o por la respiración o bien para ser almacenados. Se plantea este supuesto pues al determinar el cociente de regresión con el objetivo de determinar la posible correlación entre la concentración de carbono y la densidad maderable se obtuvo un cociente bajo ( $R^2=0.0049$  entre densidad maderable y porcentaje de carbono en la madera;  $R^2=0.0829$  entre densidad de la madera y porcentaje de carbono en la corteza) indicando por tanto, la no existencia de correlación entre estas dos variables.

Si se analiza el carbono retenido en la madera y corteza de las especies teniendo en cuenta los rangos porcentuales del contenido de carbono en ellas obtenidos a nivel de laboratorio, se puede lograr una estimación más detallada del carbono asimilado por las especies (Tabla 27.)

Tabla.27. Carbono retenido por algunas especies forestales atendiendo a los rangos de carbono presentes en corteza y madera.

Especie	CR biomasa total (Mg/ha)		CR biomasa aérea (Mg/ha)		CR total (Mg/ha)		CR necromasa (Mg/ha)	
	Madera	Corteza	Madera	Corteza	Madera	Corteza	Madera	Corteza
B. simaruba	21.82	20.75	16.78	15.96	144.82	143.75	2635.67	2616.20
	21.78	21.14	16.76	16.26	144.78	144.14	2635.05	2623.40
	21.71	20.21	16.70	15.55	144.71	143.21	2633.72	2606.51
Erythroxylon spp	96.28	97.01	74.07	74.62	219.28	220.01	3990.98	4004.20
	97.74	96.60	75.18	74.31	220.74	219.60	4017.42	3996.81
G. gerascanthoides	33.87	29.09	26.05	22.38	156.87	152.09	2855.05	2768.04
C. glabra	47.14	50.14	36.26	38.57	170.14	173.14	3096.54	3151.06
	47.67	48.49	36.67	37.30	170.67	171.49	3106.23	2121.04
	47.28	48.49	36.37	37.30	170.28	171.49	3099.01	3121.04
S. foetidissimum	71.40	75.32	54.92	57.94	194.40	198.32	3538.00	36.09.37
	73.87	73.38	56.82	56.45	196.87	196.38	3583.08	3574.12
T. elatum	41.09	37.07	31.60	28.51	164.09	160.07	2986.37	2913.26
	41.10	37.66	31.61	28.97	164.10	160.66	2986.53	2924.01
	41.31	35.93	31.78	27.64	164.31	158.93	2990.50	2892.59
T. angustata	42.33	40.72	32.56	31.32	165.33	163.72	3008.92	2979.63
	41.54	41.89	31.96	32.22	164.54	164.89	2994.68	3000.99
N. coriacea	56.91	56.32	73.78	43.33	179.91	179.32	3274.38	3263.70
	57.53	58.35	44.26	44.88	180.53	181.35	3285.74	3300.50
	58.13	57.67	44.72	44.36	181.13	180.67	3296.64	3288.23
L. latisiliquum	56.20	58.22	43.23	44.78	179.20	121.22	3261.40	3298.14
	56.74	56.83	43.64	43.71	179.74	179.83	3271.24	3272.88
	56.92	58.71	43.78	45.16	179.92	181.71	3274.51	3307.03

Especie	CR biomasa total (Mg/ha)		CR biomasa aérea (Mg/ha)		CR total (Mg/ha)		CR necromasa (Mg/ha)	
	Madera	Corteza	Madera	Corteza	Madera	Corteza	Madera	Corteza
C. uvifera	29.80	30.91	22.92	23.78	152.80	153.91	2780.95	2801.15
	28.85	28.20	22.19	21.70	151.85	151.20	2763.62	2751.91
G. lucida	83.35	79.30	64.11	61.00	206.35	202.30	3755.56	3681.88
	83.46	75.20	64.20	57.84	206.46	198.20	3757.56	3607.19
O. lanceolata	67.88	69.25	52.21	53.27	190.88	192.25	3473.93	3499.01
	67.46	69.86	51.89	53.74	190.46	192.86	3466.38	3510.07
	68.72	67.21	52.86	51.70	191.72	190.21	3489.30	3461.79
	69.21	67.79	53.24	52.14	192.21	190.79	3498.21	3472.31
E. buxifolia	52.26	52.17	40.20	40.13	175.26	175.17	3189.78	3188.11
	52.91	51.56	40.70	39.66	175.91	174.56	3201.49	3177.03
	51.99	52.19	39.99	40.15	174.99	175.19	3184.77	3188.53

Desde este punto de vista, la especie *Erythroxylon spp* mostró los mayores estimados en la madera con un carbono retenido en la biomasa aérea entre 74.07 MgCO<sub>2</sub>/ha a 75.18 MgCO<sub>2</sub>/ha, acumulando en la biomasa total entre 96.28 MgCO<sub>2</sub>/ha a 97.74 MgCO<sub>2</sub>/ha; presentó además los mayores estimados en el carbono retenido en la corteza: 74.31 MgCO<sub>2</sub>/ha a 74.62 MgCO<sub>2</sub>/ha en la biomasa aérea y 96.60 MgCO<sub>2</sub>/ha a 97.01 MgCO<sub>2</sub>/ha en la biomasa total (Fig. 42). Esta especie, conjuntamente con *Gymnanthes lucida* y *S. foetidissimum* presentaron los mayores valores de carbono retenido en la biomasa, tanto en la albura como en el duramen.

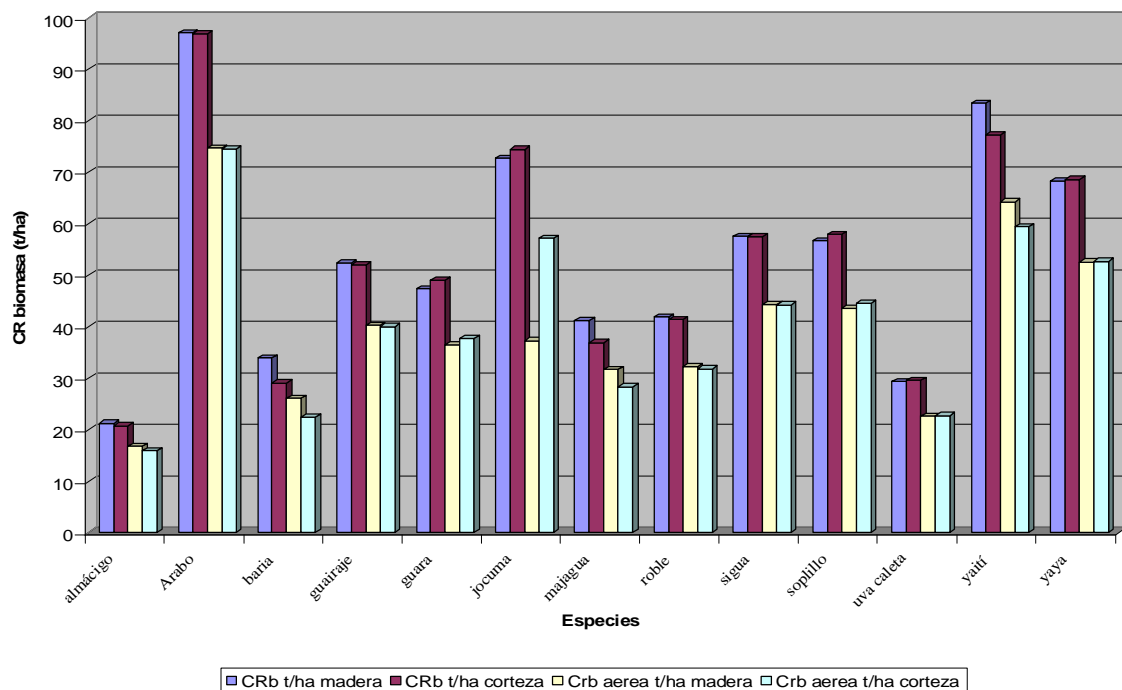


Fig.42. Carbono retenido en la biomasa total y aérea (Mg/ha) tanto en madera como corteza de algunas especies forestales estudiadas.

Lamentablemente no se registran las especies *C. equisetifolia* y *C. calaba*. No obstante, *L. latisiliquum* retuvo en la biomasa total entre 56.91 MgCO<sub>2</sub>/ha – 58.13 MgCO<sub>2</sub>/ha en la madera, mientras que en la corteza contaba con 56.83 MgCO<sub>2</sub>/ha – 58.71 MgCO<sub>2</sub>/ha. Por su parte *T. elatum* en la biomasa total almacenó en la madera de 41.09 MgCO<sub>2</sub>/ha a 41.31 MgCO<sub>2</sub>/ha y en la corteza 35.93 MgCO<sub>2</sub>/ha – 37.66 MgCO<sub>2</sub>/ha, valores superiores en 8.92 MgCO<sub>2</sub>/ha (madera) y 5.27 MgCO<sub>2</sub>/ha (corteza) del valor calculado con anterioridad donde se utilizaba el valor medio de contenido de carbono de la especie.

La especie *B. simaruba*, atendiendo al contenido de carbono en la madera obtenido, retiene en su biomasa aérea 16.75 MgCO<sub>2</sub>/ha y 21.77 MgCO<sub>2</sub>/ha en la biomasa total. En cuanto al estimado en su corteza, esta especie retiene en su biomasa aérea

15.92 MgCO<sub>2</sub>/ha y 20.70 MgCO<sub>2</sub>/ha en la biomasa total, para de esta forma ser la variedad de menor retención de carbono. Hay que puntualizar presentó además, una de las asimilaciones más bajas de carbono con 10.50 μmolCO<sub>2</sub>/m/s.

Pero si bien es importante la determinación de la asimilación y retención de carbono por las especies forestales teniendo en cuenta el supuesto de constituir entes sumideros de carbono, también es importante la determinación del contenido de nitrógeno en madera y corteza.

Según FAO (2000 b) citando a Swift son necesarios de 70 kg a 100 kg de nitrógeno para capturar una tonelada de carbono.

Estudios realizados por Feldpausch *et al* (2004) demostraron que la deposición atmosférica de N<sub>2</sub> conllevarán a realzar el crecimiento radial del fuste de algunas especies arbóreas, siendo muy probable que ocurra en algunas regiones. Por otra parte, Nadelhoffer *et al*, citados por Jandl (2003) plantea que el " nitrógeno leñoso " puede contribuir mucho más al almacenamiento de carbono, especialmente si la madera es utilizada para productos de mayor longevidad

El nitrógeno constituye, aproximadamente, del 1% al 5% del peso anhidro de las hojas, y una parte menor, del peso de los demás tejidos vegetales; al combinarse en las plantas con las sustancias carbonadas da lugar a una gran cantidad de compuestos orgánicos diferentes que contienen un promedio aproximado del 16% de este elemento, por lo que las sustancias nitrogenadas forman del 5% al 30% del peso total de los tejidos vegetales. Constituye además un componente esencial, pues se encuentra en muchas de las vitaminas que actúan como grupos funcionales de las enzimas, en algunas purinas tales como la adenina, importantes en la respiración, en las moléculas de los ácidos nucleicos, en las proteínas las cuales hacen posible la realización del metabolismo celular (Portillo, 1965).

Pero es además un componente de las nucleoproteínas las cuales constituyen elemento de los cromosomas. El nitrógeno forma parte de la base nitrogenada que originan los nucleótidos (ésteres fosfóricos) los cuales reducen el CO<sub>2</sub> " fijado " en forma de ácido fosfoglicérico. Constituye un ente en las enzimas (proteínas), cuya función es la de formar o degradar las sustancias derivadas de los carbohidratos como el almidón. Forma parte de la constitución química de las hormonas del crecimiento celular (auxinas o ácido indolacético, que participa en el crecimiento longitudinal de las células, en la iniciación floral y desarrollo de los frutos, tiene una actividad meristemática al actuar sobre los meristemas: la auxina formada en la yema apical estimula y regula la actividad del cambium en las plantas leñosas, el cual actúa sobre el crecimiento en grosor de los árboles).

Pero sobre todas las cosas, el N incrementa la producción de CO<sub>2</sub> respiratorio, (Portillo, 1965) favoreciendo la emisión del gas y forma parte del tercer GEI de importancia, el cual contribuye, aproximadamente con 6.2%, al incremento del forzamiento radiativo total de los GEI de vida prolongada y que como resultado de las actividades humanas sus concentraciones han incrementado de 270 ppb en la época preindustrial hasta cerca de 320.1 ppb a finales del 2006, representando 19% del aumento (Castro *et al*, 2008).

A continuación se muestran los valores porcentuales de nitrógeno contenidos en corteza y madera en algunas especies forestales (Tabla 28).

Tabla.28. Valores porcentuales medios del nitrógeno contenido en corteza y madera de algunas especies forestales de mayor interés y representatividad.

Especie	% N en madera	% N en corteza
<i>Talipariti elatum</i> (majagua)	0.25	0.80
<i>Cupania glabra</i> (guara o guarana)	0.37	1.08
<i>Busera simaruba</i> (almácigo)	0.39	0.80
<i>Erythroxylon spp</i> (arabo)	0.39	1.15
<i>Gerascanthus gerascanthoides</i> (baría)	0.42	1.19
<i>Oxandra lanceolata</i> (yaya)	0.41	2.25
<i>Lysiloma latisiliquum</i> (soplillo)	0.26	1.37
<i>Tabebuia angustata</i> (roble)	0.38	1.34
<i>Gymnanthes lucida</i> (yaití)	0.36	1.18
<i>Coccoloba uvifera</i> (uva caleta)	0.37	0.56
<i>Nectandra coariacea</i> (sigua)	0.33	1.71
<i>Sideroxylon foetidissimum</i> (jocuma)	0.55	1.53
<i>Eugenia buxifolia</i> (guairaje)	0.20	0.82

Se plantea que las plantas con mayor presencia de nitrógeno, por lo general, retienen mayor carbono, constituyendo así una alternativa de mitigación. Por tal motivo se analiza la eficiencia del uso del nitrógeno definida por Chapin (1980), partiendo de los valores porcentuales medios de éste elemento contenido en corteza y madera y los respectivos pesos o masa seca de ambas, lo cual conlleva a conocer la concentración de nitrógeno en el fuste, y cuya inversa se puede tomar como dicha eficiencia. Una vez conocida ésta, entonces, se obtiene (teniendo en consideración el porcentaje de carbono retenido en corteza y madera y sus respectivos pesos) la cantidad de carbono retenido por cada gramo de nitrógeno absorbido, obteniéndose en el estudio los resultados siguientes:

Tabla.29. Carbono retenido por algunas especies forestales atendiendo a cada gramo de N<sub>2</sub> absorbido.

Especie	Materia seca producida por cada gramo de nitrógeno (NUE) (g)	Carbono retenido por cada gramo de N <sub>2</sub> absorbido (g)
T. elatum (majagua)	<b>375.00</b>	<b>169.31</b>
C. glabra (guara o guarana)	255.56	<b>416.04</b>
B. simaruba (almácigo)	248.57	113.01
E. spp (arabo)	242.25	109.99
G. gerascanthoides (baría)	227.00	101.54
O. lanceolata (yaya)	214.96	99.27
L. latisiliquum (soplillo)	<b>340.95</b>	150.30
T. angustata (roble)	244.62	115.31
Gymnanthes lucida (yaití)	260.01	118.08
C. uvifera (uva caleta)	266.17	118.87
N. coariacea (sigua)	269.25	124.06
S. foetidissimum (jocuma)	172.59	79.01
E. buxifolia (guairaje)	<b>457.46</b>	<b>208.82</b>



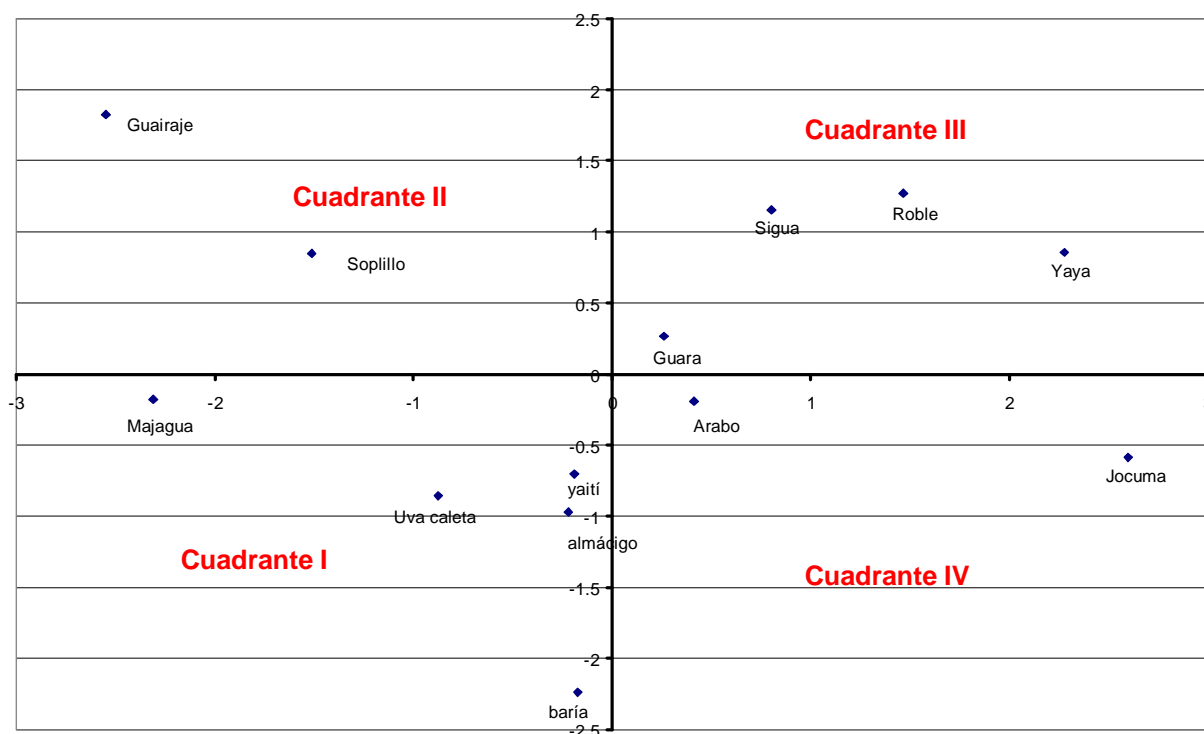


Fig. 43. Representación gráfica de las especies con relación a la eficiencia en el uso del nitrógeno.

Como se muestra en la tabla.29 y figura 43, *E. buxifolia*, *T. elatum* y *L. latisiliquum* constituyen las especies con una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE) representadas en los cuadrantes I y II y por tanto las de mayor cantidad de materia seca producida por cada gramos de nitrógeno absorbido. Estas difieren de *S. foetidissimum*, *N. coriacea*, *T. angustata*, etc, especies representadas en los cuadrantes III y IV (con tendencia a mostrar una baja NUE). Sin embargo, atendiendo a la porción de carbono retenido, son superadas por *C. glabra* debido a que ésta presenta un mayor porcentaje de carbono contenido en la madera con relación a las otras especies pues presenta mayor área foliar, consecuencia por lo cual adquiere un lugar cimero.

Según Feldpausch *et al* (2004) la deposición de nitrógeno provocaría una menor densidad maderable. Sin embargo, al calcular los cocientes de regresión para dichas especies, se obtuvo la no existencia de correlación entre la densidad de la madera y %  $N_2$  contenido en la madera ( $R^2=0.0233$ ) ni entre la densidad de la madera y %  $N_2$  presente en la corteza ( $R^2=0.075$ ).

Mediante la utilización de los cocientes carbono – nitrógeno (C/N) de las concentraciones conjuntas del fuste que integran los valores de corteza y madera, tanto de C como de N, se puede valorar las especies que precisamente mostrarán elevada capacidad para secuestrar carbono por cada unidad de N<sub>2</sub> empleado, obteniéndose en el estudio el siguiente resultado:

Tabla.30. Relación carbono- nitrógeno en cada especie forestal analizada.

Especie	C/N (g)
T. elatum (majagua)	<b>181.16</b>
C. glabra (guara o guarana)	122.59
B. simaruba (almácigo)	116.82
E. spp (arabo)	116.44
G. gerascanthoides (baría)	106.95
O. lanceolata (yaya)	112.66
L. latisiliquum (soplillo)	<b>169.38</b>
T. angustata (roble)	124.10
Gymnanthes lucida (yaití)	126.47
C. uvifera (uva caleta)	120.66
N. coariacea (sigua)	139.64
S. foetidissimum (jocuma)	83.18
E. buxifolia (guairaje)	<b>228.30</b>

Como se muestra en la Tabla.30, existe coincidencia con las especies de mayor eficiencia en la utilidad del nitrógeno; las especies *E. buxifolia*, *L. latisiliquum* y *T. elatum* presentan mayor capacidad de secuestrar carbono por cada unidad de nitrógeno empleado y por consiguiente constituyen ejemplares a considerar dentro de la gama de especies sumideros de carbono, y de ocurrir un modesto incremento de N<sub>2</sub> en el suelo, y como la relación C/N es mayor en los tejidos vegetales según Schlesinger (2007), se producirá un incremento muy significativo del secuestro del carbono por las plantas.

Estos resultados corroboran los planteamientos realizados por Jandl (2003), quien manifiesta que si el nitrógeno se queda en el sistema, puede ser fijado en la madera con una relación C:N de alrededor de 500 y este nitrógeno *leñoso*, según UNAM (2006), contribuir mucho más al almacenamiento de carbono que el carbono retenido en el suelo.

Por otra parte, Reichstein (2007) asevera que en las regiones tropicales, el crecimiento de las plantas es limitado por otros elementos y no por las deficiencias de N<sub>2</sub> y por tanto el aumento del N atmosférico y la aplicación de fertilizadores que contengan este componente, pueden acelerar el crecimiento de la planta.

Precisamente *T. tilaceum* constituyó uno de los géneros con mayor asimilación máxima (19.90 μmolCO<sub>2</sub>m/s) de carbono durante el proceso de fotosíntesis.

Además, *L. latisiliquum* constituyó una especie a presentar individuos con tendencia de incrementar la fotosíntesis y con ello la producción de materia seca a medida que aumentaba la concentración de carbono.

En análisis de correlación realizado no se denotó relación entre la densidad de la madera y C/N ( $R^2= 0.0084$ ) ni entre la densidad maderable y el carbono retenido por unidad de nitrógeno absorbido ( $R^2=0.0077$ ).

### **Estimado de la biomasa a partir del volumen maderable y carbono retenido en los bosques naturales.**

Los bosques naturales cubanos se encuentran en su mayoría degradados producto a la incidencia antrópica sobre los mismos.

Los bosques naturales de la Ciénaga de Zapata están caracterizados en una parte considerable por la formación manglar y semicaducifolia, siendo estos últimos los mayormente empleados en la producción de madera, sustentando una gran variedad de

especies que resultan importante para el ámbito forestal local y nacional (Almeida, 2006).

Los bosques naturales de la EFI *Ciénaga de Zapata* cuentan con una superficie de 259035.10 ha, las cuales representan 59.29% de la superficie total de la Empresa y presentan 33203936.60 m<sup>3</sup> equivalente a 128.18 m<sup>3</sup>/ha con un Incremento Medio Anual de 5 m<sup>3</sup>/ha/año a 6 m<sup>3</sup>/ha/año.

Estos bosques según la primera metodología cuentan con 46350981.4 Mg de biomasa total, de las cuales 26638495.10 Mg corresponden a biomasa de fuste, soliendo alcanzar valores de 60256275.80 Mg (biomasa total) equivalente a 232.62 Mg/ha, distribuyéndose 46350981.40 Mg en la parte aérea (segunda metodología). En estudio realizado por Almeida (2006) se reporta, en parcelas establecidas dentro de este tipo de bosque pero proveniente de una regeneración con 19 años de edad, una biomasa total igualada en 344.94 Mg/ha, valor coincidente según la autora, con otros resultados obtenidos en países tropicales referidos por Edwards (301; 406; 233 Mg/ha); Whitmore (473; 287; 327 Mg/ha). Por lo que los resultados obtenidos en el estudio no distan de los reportes citados anteriormente.

Al realizar un análisis por formación boscosa, los manglares con una extensión territorial de 118344,30 ha (45.69% del área total cubierta por los bosques naturales) mostraron superioridad en cuanto a biomasa de fuste con 12863741.08 Mg, resultando 22382909,48 Mg de biomasa total (primera metodología); ésta última al ser aplicada la segunda metodología presentó 29097782.30 Mg, correspondiendo 22382909.5 Mg a la parte aérea. A la formación manglar le prosiguen los bosques semicaducifolios sobre caliza (87345,40 ha), ambos registran las mayores superficies.

Sin embargo, a nivel de hectárea, los mayores aportes se observan en los montes semicaducifolios sobre mal drenaje (199.30 Mg/ha de biomasa total y 114.54 Mg/ha biomasa de fuste: primera metodología), caracterizados por árboles de crecimiento generalmente rápido que conforman dos capas arbóreas, donde en la capa principal o

más alta predominan las especies caducifolias, mientras que en la otra se conserva el follaje durante casi todo el año. Al aplicarse la segunda técnica, la formación registró 264.79 Mg/ha en la biomasa total, mostrando un IMA en biomasa total entre 4.87 Mg/ha/año a 7.60 Mg/ha/año.

La formación manglar con 189.13 Mg/ha a 245.87 Mg/ha (metodología I y II respectivamente) resultó ser la segunda vegetación en importancia en cuanto al aporte de biomasa, valores que superan los registros obtenidos por Rodríguez (2005) en EFI La Palma, Pinar del Río, donde se reportan 118.75 Mg/ha; esto demuestra que la biomasa estimada está influenciada por las características ecológicas imperantes en cada región de estudio y que la cantidad de material producido depende de cambios ambientales físicos y químicos, incluyendo la cantidad de radiación solar, agua, nutrientes, temperatura, marea, tipo de suelo, concentración de oxígeno y ph (Nazip, 2008).

La formación uveral con 52.20 m<sup>3</sup>/ha de volumen maderable reflejó los menores aportes de biomasa total al presentar valores entre 63.58 t/ha (primera metodología) y 109.62 Mg/ha (segunda metodología), correspondiendo 36.54 Mg/ha (primera metodología) a 142.51 Mg/ha (segunda metodología) a biomasa de fuste.

A continuación la Fig. 44 muestra los valores de biomasa obtenidos (atendiendo a la segunda metodología) en cada formación boscosa.

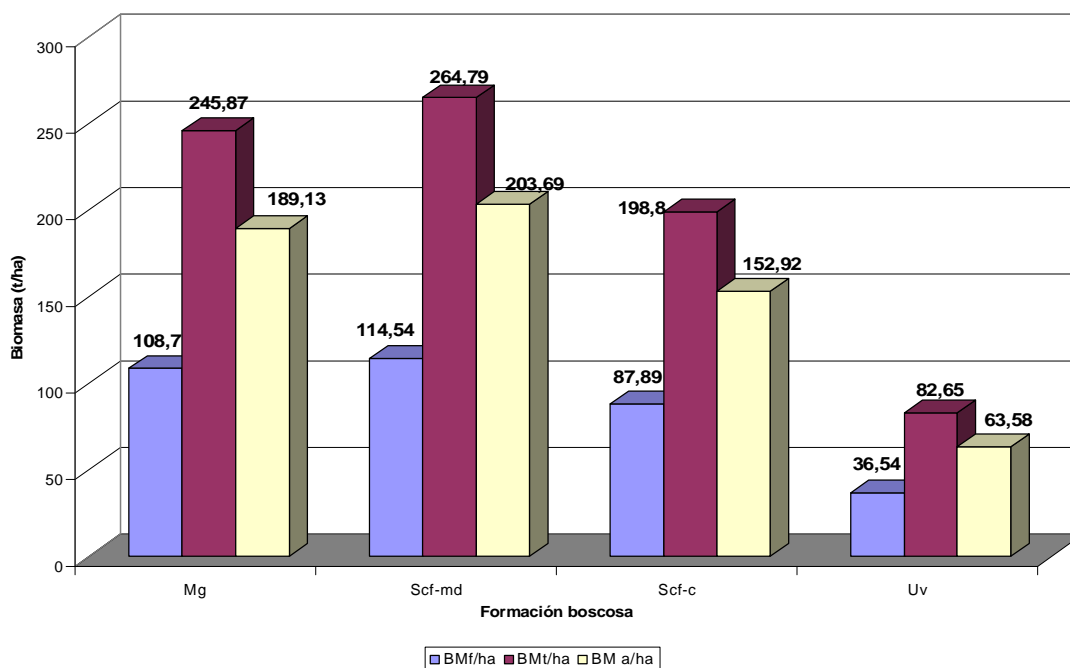


Fig.44. Biomasa de fuste, total y aérea (Mg/ha) presentada en cada formación boscosa atendiendo al segundo método aplicado.

Los valores obtenidos se observan en Anexos 5, 5.A.

Los bosques naturales, atendiendo a su superficie, retuvieron en su biomasa un total de 20857941.6 MgCO<sub>2</sub> (80.52 MgCO<sub>2</sub>/ha, primera metodología). Sin embargo, atendiendo a los resultados obtenidos en la aplicación de la segunda metodología, el carbono retenido ascendió a 28248142.1 MgCO<sub>2</sub>, reteniendo 21729340.10 MgCO<sub>2</sub> en la parte aérea (segunda metodología) valores que superan los reportes dados por PROARCA (1998) en los bosques secundarios de El Salvador (373620 Mg de carbono) y que representan 0,02% del carbono retenido en la biomasa en la región del Caribe en el 2005, el cual según FAO citado por Bravo *et al* (2008 a), alcanzó cifras de 0,6 Gt de CO<sub>2</sub>; demostrando que las condiciones ecológicas, las especies componentes influyen en el grado de retención de carbono, reafirmando la reseña dada por Bravo *et al* (2008 a), los cuales plantean que las diferencias encontradas para los bosques con una mayor densidad de composición de especies puede deberse a tres razones principales:

- 1) diferencias en la configuración del fuste y la copa de los árboles entre las especies;
- 2) diferencias en la estructura del bosque (ejemplo: la distribución diamétrica) generada

por los distintos tratamientos silvícolas aplicados y 3) cambios en la biomasa subterránea, un componente cuya importancia es generalmente subestimada.

Con relación al carbono retenido en la biomasa, la formación semicaducifolio sobre mal drenaje almacenó entre 89.68 MgCO<sub>2</sub>/ha (primera metodología) y 120.07 MgCO<sub>2</sub>/ha, de las cuales 92.36 MgCO<sub>2</sub>/ha se registran en la biomasa aérea (segunda metodología), mostrando los valores más elevados. La superioridad de ésta formación radica, (además de las características anteriormente citadas que justifican su aporte en biomasa), en que coexisten en ella especies como *T. elatum*, *B. buceras*, las cuales presentan puntos de asimilación máxima de CO<sub>2</sub> elevados, o especies como *L. latisiliquum* que registran una variabilidad intraespecífica en la asimilación del GEI al contar con individuos con tendencia a incrementar la asimilación del carbono (fotosíntesis) a medida que aumenta la concentración del mismo.

Estos registros obtenidos en la metodología II se encuentran en el rango citado por Lopera y Gutiérrez (2000) quienes plantean un carbono retenido en la biomasa aérea de los árboles tropicales entre 20 Mg/ha a 269 Mg/ha.

Esta formación (semicaducifolio sobre mal drenaje) cuenta con un IMA de carbono retenido entre 2.17 MgCO<sub>2</sub>/ha/año a 2.63 MgCO<sub>2</sub>/ha/año (I) y 2.97 MgCO<sub>2</sub>/ha/año a 3.56 MgCO<sub>2</sub>/ha/año (II).

La formación manglar con IMA de carbono retenido en la biomasa aérea entre 4.89 MgCO<sub>2</sub>/ha/año- 5.86 MgCO<sub>2</sub>/ha/año y 6.35 MgCO<sub>2</sub>/ha/año – 7.62 MgCO<sub>2</sub>/ha/año en la biomasa total resultó ser la formación de mayores IMA de CO<sub>2</sub> almacenado, esto se debe a que dicha vegetación cuenta con una gama de especies con un sistema radicular característico que les permite una mayor absorción del elemento tanto del aire como del suelo. Además, es de señalar, que una de las especies integradas a este bosque es *R. mangle*, la cual mostró una tendencia a incrementar su producción de biomasa a medida que aumentaba la concentración del gas en la atmósfera y en los espacios intercelulares, aumentando con ello su asimilación, y de esta forma retener la mayor cantidad de carbono disponible. Pero además, según Nazip (2008), el rango de secuestro de carbono del ecosistema es determinado por un número de procesos tales

como las tasas de productividad y descomposición, encontrándose ambos fuertemente influenciados por las condiciones ambientales como temperatura y precipitación.

Esto demuestra los planteamientos ofrecidos por este autor, el cual refiere que los bosques de manglar juegan un rol importante en el ciclo del carbono en la remoción del CO<sub>2</sub> desde la atmósfera y almacenan éste como carbono en la biomasa y el suelo mediante el proceso de retención.

Además aseveran la referencia dada por Le May y Kurz (2008), los cuales comunican que la composición de especies, densidad y tamaño de los árboles, entre otros componentes como la hojarasca, restos leñosos, etc., impactan la dinámica del carbono de los bosques.

Los bosques naturales almacenan un total de 150.31 MgCO<sub>2</sub>/ha a 415.54 MgCO<sub>2</sub>/ha (II y I metodologías), representando 59.94% a 81.27% del carbono retenido en la biomasa forestal en Cuba (347 Mt de carbono en el 2005) según cifras contempladas por PNUD (2007), aspecto que reafirma la importancia de la Península Zapata al presentar la segunda superficie boscosa nacional.

Con relación a las categorías de manejo, teniendo en cuenta la superficie ocupada, los bosques productores concentran la mayor biomasa total: 21498540.20 Mg a 27948601.00 Mg (I y II metodología). Estos bosques representan 42.36% de la superficie total de los montes naturales al cubrir 109723,50 ha en extensión territorial. No obstante, los bosques de manejo especial preservan una biomasa por hectárea superior al registrar 222.58 Mg/ha, donde 127.92 Mg/ha representan fuste (I metodología), pero pueden llegar a cuantificar 289.35 Mg/ha de biomasa total (II metodología) (Fig.45).



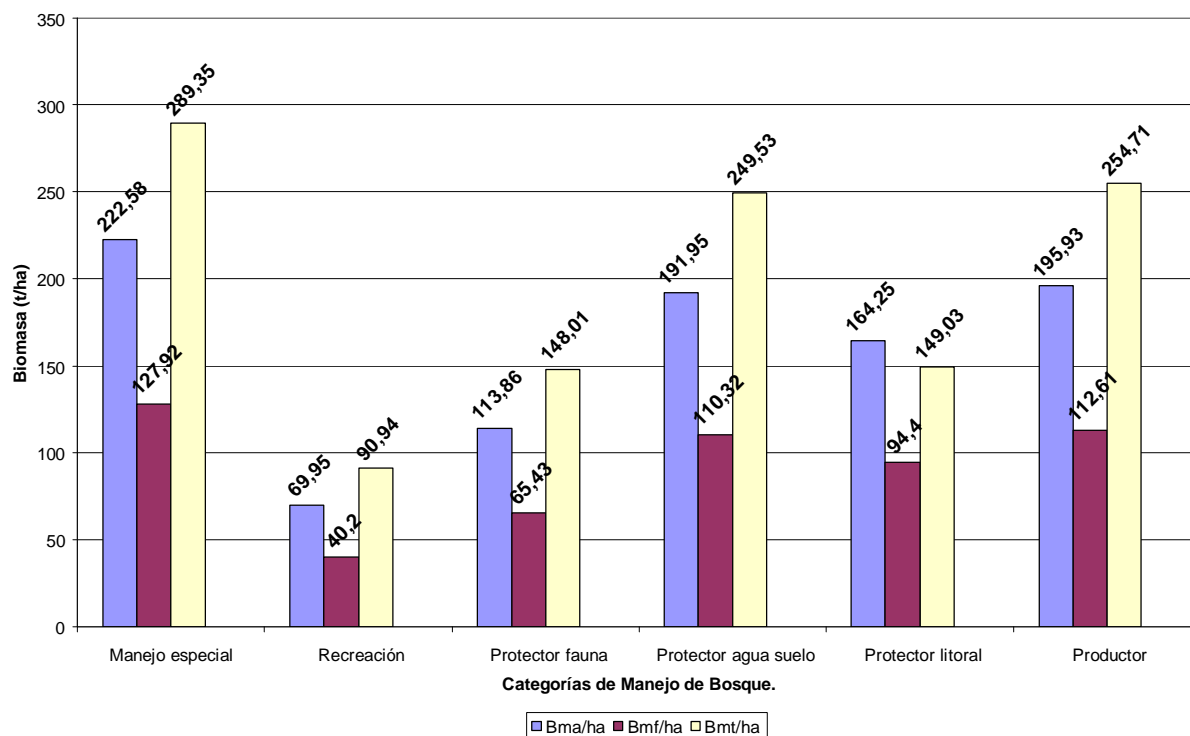


Fig.45. Estimado de la biomasa (Mg/ha) teniendo en cuenta el método II empleado.

Estos tipos de bosque (manejo especial) se destinan a estudios científicos o ecoturismo, alcanzando los ejemplares arbóreos que lo conforman dimensiones considerables. Constituyen a su vez, entes donde se concentra la mayor cantidad de carbono retenido en la biomasa con 100.16 MgCO<sub>2</sub>/ha (I), pudiendo llegar a cuantificar 135.64 MgCO<sub>2</sub>/ha, lo cual representa 24.49% (II), de las cuales 104.34 MgCO<sub>2</sub>/ha se concentran en la parte aérea (II). (Fig.46).

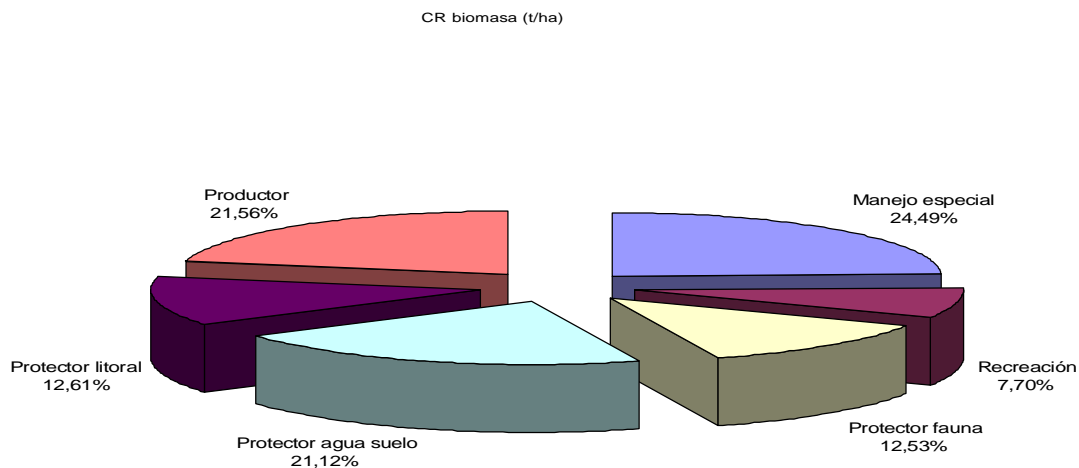


Fig.46. Carbono retenido en la biomasa (Mg/ha) teniendo en cuenta el método II empleado.

Estos resultados demuestran las aseveraciones referidas por Bravo *et al* (2008 a) al comunicar que el carbono retenido varía en dependencia de los objetivos y manejos del bosque, incluyendo si estos son manejados como áreas productivas o de conservación pues estas últimas tienen un impacto limitado sobre el carbono removido a medida que los árboles alcancen su madurez ya que en esta etapa de la vida las tasas o niveles de remoción de CO<sub>2</sub> adquieren niveles más bajos.

Los valores específicos se observan en Anexos 5.B, 5.C.

### **La necromasa y el carbono retenido.**

#### **La necromasa y el carbono retenido por las plantaciones forestales.**

La materia orgánica del suelo es un eslabón en la mejora de la eficiencia del uso del nitrógeno (Kimble, 2006). Representa un volumen considerable de carbono en el ambiente. Como tal, ésta tiene el potencial para tener un efecto significativo sobre las emisiones de GEI (Schepers *et al*, 2007).

La necromasa o residuos vegetales es un ente participativo en el ciclo del carbono. Cuando el aporte de residuos vegetales es muy alto, se incrementa el contenido de materia orgánica, la cual según González y Martínez (2003), es fundamental para la actividad biológica del suelo, dado que constituye su fuente de energía, estando su cantidad directamente relacionada con la diversidad, la cuantía y actividad de la fauna en el suelo y los microorganismos. Cuba (Feller *et al*, 2006), presenta un bajo contenido de materia orgánica, lo cual representa la principal característica que encierra un impacto negativo sobre el agotamiento de los nutrientes y una degradación de las propiedades físicas con un alto riesgo de un drenaje pobre y una erosión acelerada por el agua. Las plantaciones forestales cuenta 119457.52 Mg de necromasa (18.2 Mg/ha), subdividas en 77655.76 Mg en las adultas y 41801.76 Mg en las jóvenes o en establecimiento. *R. mangle* (61.40% en plantaciones adultas y 21.31% en las jóvenes) resultó ser la especie que incorpora mayor cantidad de residuos al suelo, aspecto influenciado por la superficie ocupada (Fig. 47 y 48).

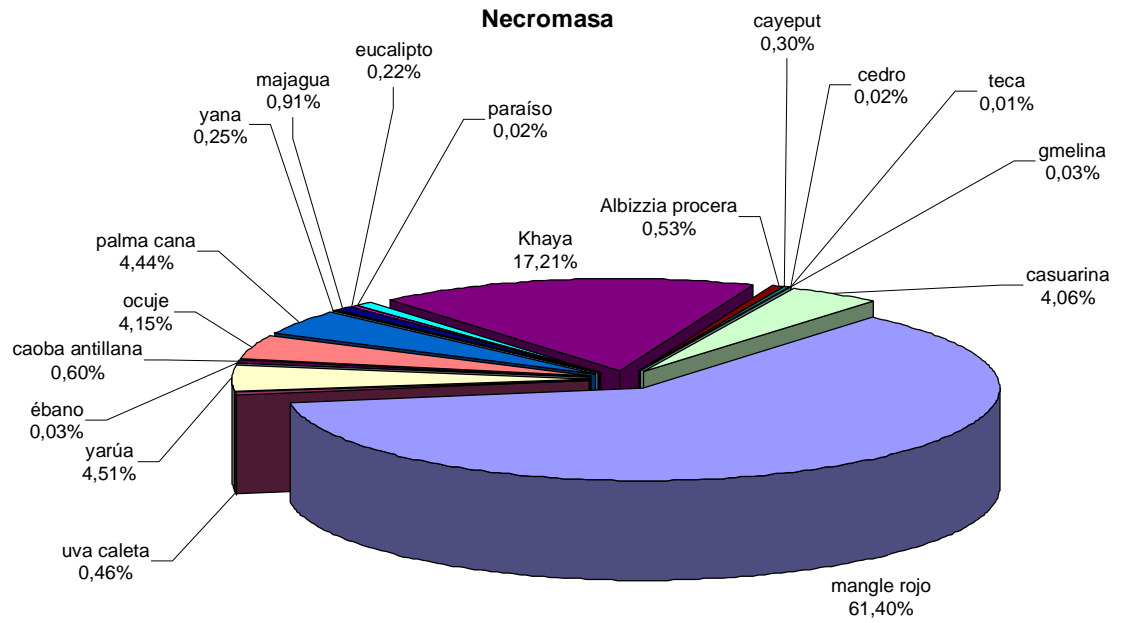


Fig.47. Estimado de la necromasa (Mg) presente en las plantaciones adultas.

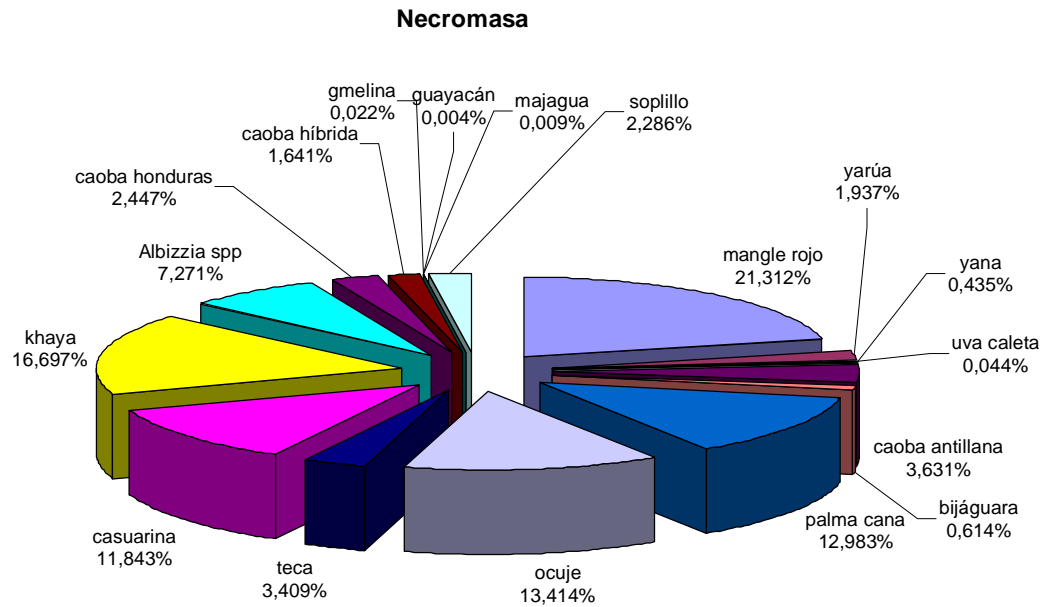


Fig.48. Estimado de la necromasa (Mg) presente en las plantaciones jóvenes.

La necromasa tiene un importante impacto sobre el carbono retenido en los sistemas forestales porque esta puede incrementar el riesgo de alteraciones, resultando en un aumento del riesgo de fuegos, plagas y patógenos (Moreno y Oberbauer, 2008).

Esta materia depositada es conformada por CO<sub>2</sub> y agua, productos activos en la fotosíntesis y asimilados por la planta para la ejecución de este proceso fisiológico. Atendiendo a ello, se estima la cantidad de carbono retenido, obteniéndose que las plantaciones adultas en una superficie de 4266.80 ha, almacenan 55136579253.04 Mg, donde la especie *R. mangle* reporta los mayores estimados, representados en 56.23% (Fig.49). Las plantaciones jóvenes secuestran 12194819105.11 Mg, esta vez, los residuos depositados por *R. mangle* almacenan 20.79% del carbono retenido total por la necromasa (Fig.50).

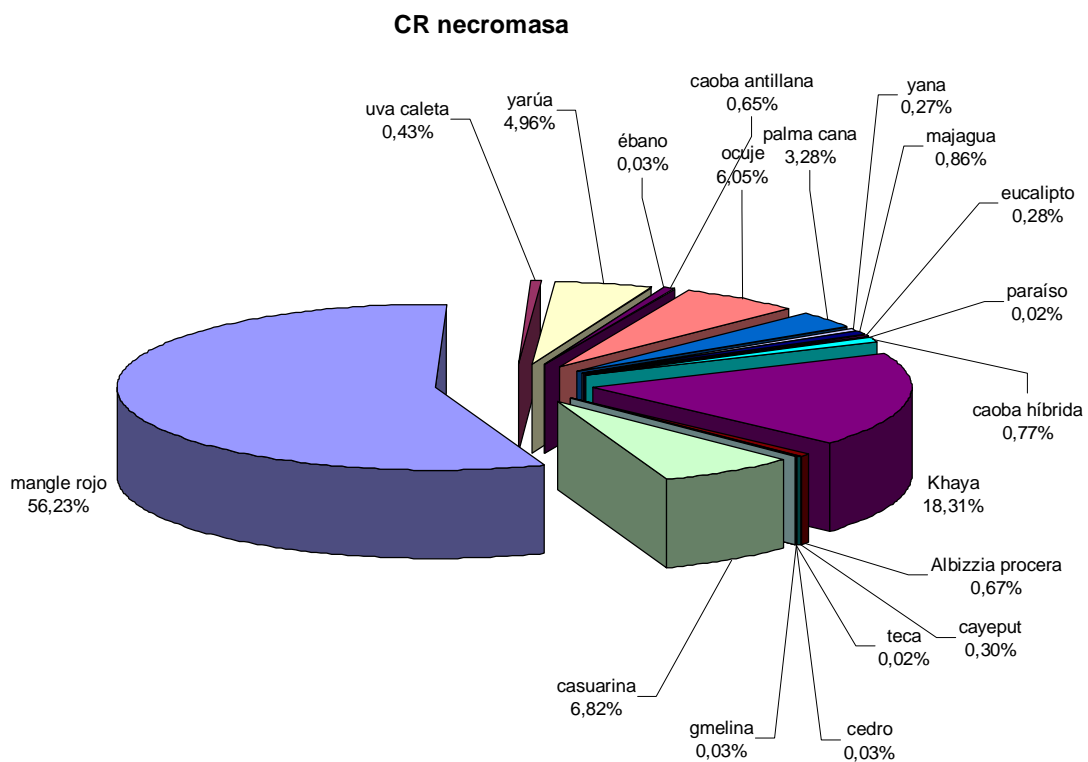


Fig.49. Carbono retenido en la necromasa (Mg/ha) en las plantaciones adultas.

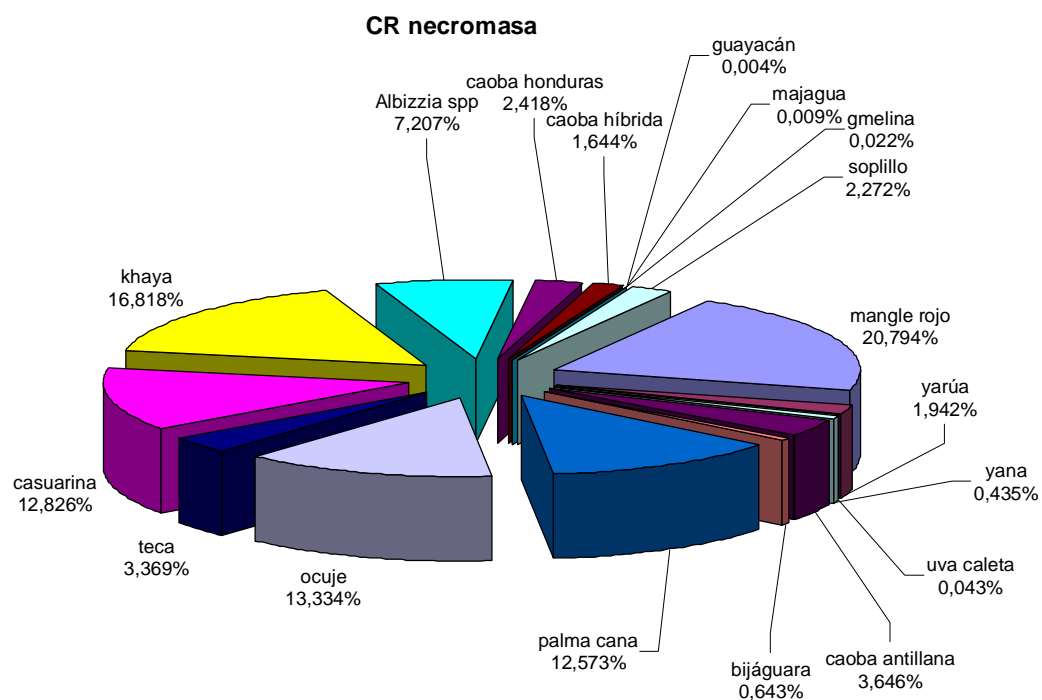


Fig.50. Carbono retenido en la necromasa (Mg/ha) de las plantaciones jóvenes.

### **Necromasa y carbono retenido por los bosques naturales.**

Atendiendo a las formaciones boscosas, los manglares presentan 2153866.26 Mg de necromasa, reportando 46.00% de los residuos vegetales concentrados en la superficie de los bosques naturales, le secundan las vegetaciones semicaducifolias sobre caliza (33.95%) con 1589686.28 Mg (Fig.51). Estas formaciones retienen 268967841 Mg de carbono (38.16% - los bosques semicaducifolios sobre caliza) y 248266934 Mg (35.22%- manglar), aspecto mostrado en Fig.52.

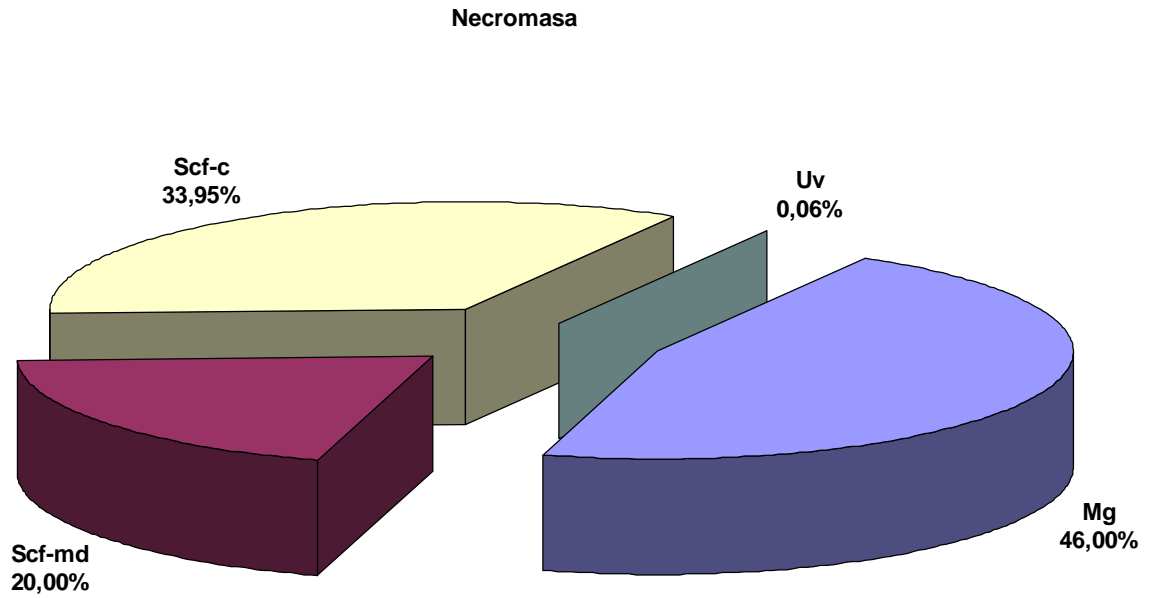


Fig.51. Estimado del aporte de necromasa de cada formación boscosa.



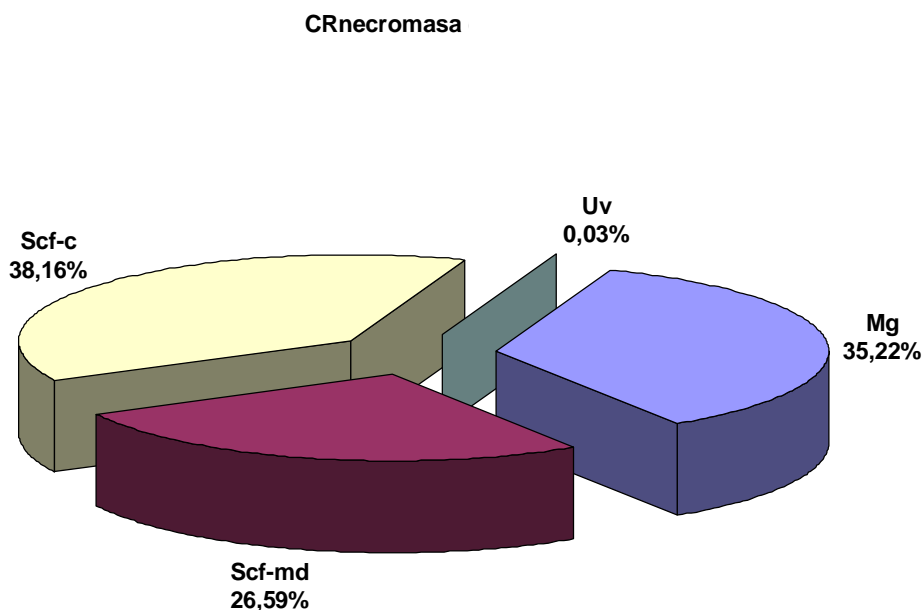


Fig.52. Carbono retenido por la necromasa de las formaciones boscosas.

Esta diferencia porcentual entre formaciones reafirma los planteamientos de Lal (2006) el cual comunica que el carbono en la materia orgánica depende de la calidad de la biomasa (entre la que se encuentra la relación C/N). Precisamente en la formación semicaducifolia sobre caliza, se encuentran la mayor representación numérica de dos especies que mostraron mayor relación C/N como *T. elatum* y *L. latisiliquum*, éste también presente en la formación semicaducifolia sobre mal drenaje.

Se reafirma la referencia de Le May y Kurz (2008), los cuales notifican que el monto de carbono, en este componente, es afectado por la vegetación, el tiempo y tipo del último manejo, así como de otros factores de sitio y climáticos. Además que la tasa de descomposición de los materiales de madera caídos varía con la especie, tamaño del material muerto, tipo de material (ejemplo: corteza, si es madera blanda o dura) y la condición de sitio (ejemplo: temperatura, humedad, etc) (Moreno y Oberbauer, 2008).

Entre los factores reportados por Lal (2006) que inciden en el carbono presente en la necromasa, está el clima y es que según Reichstein (2007) el aumento del calor da un vuelco al volumen de hojarasca y puede acelerar la descomposición del carbono almacenado en el suelo, mientras el calentamiento del sustrato, acelerará la descomposición de la materia orgánica y el flujo de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Atendiendo a la categoría de bosque, constituyen los productores con 89,38% los de mayor cuantía, aspecto evidenciado en la figura 53.

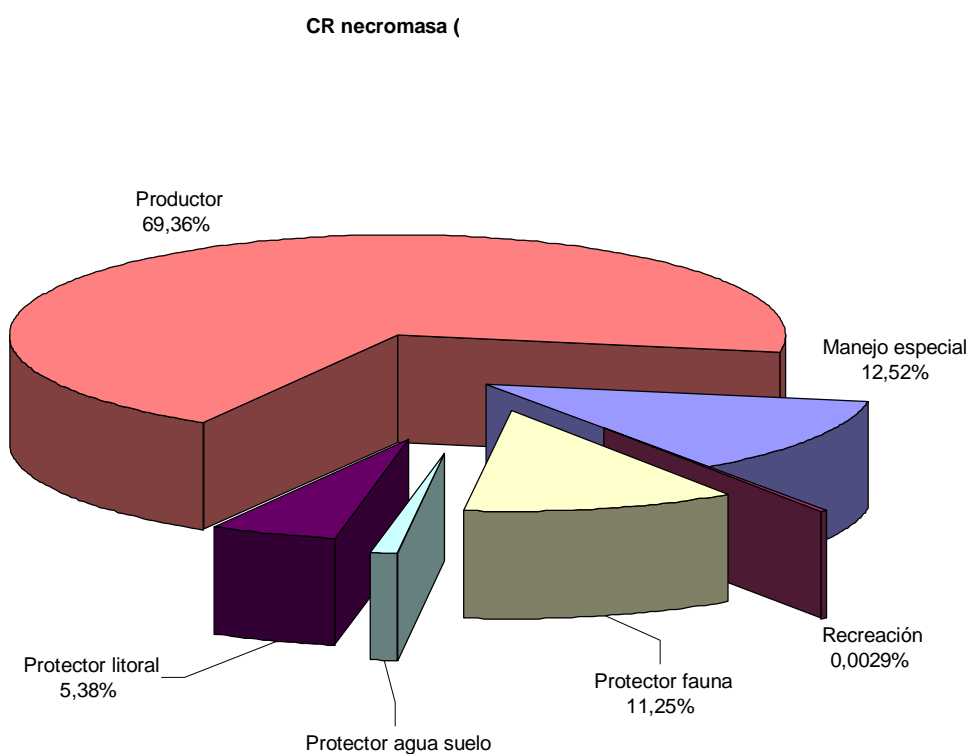


Fig.53. Carbono retenido por la necromasa atendiendo a la categoría de bosque.

### Estimado de carbono acumulado en el suelo.

Los suelos también contienen una extensa retención de carbono en el ecosistema terrestre (Moreno y Oberbauer, 2008).

En América Latina el secuestro de carbono en el ecosistema terrestre ofrece un único nicho para la mitigación del cambio climático, siendo éste un componente activo e importante en el ciclo global del carbono (Lal, 2006).

Los suelos de Cuba constituyen un mosaico con una gran complejidad edáfica a causa de los diversos procesos geológicos y geomorfológicos que le dieron origen (Manoso, 2001; Cerri *et al*, 2006).

Según FAO (2000) los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro uso de la tierra y sus suelos contienen cerca del 40% del carbono. El carbono retenido en los suelos forestales representa el 36% del total del carbono retenido en el suelo a un metro de profundidad.

Por otra parte, las recientes estimaciones globales del carbono terrestre retenido indican que los suelos contienen más que tres veces el carbono presente en la atmósfera, aunque solo una pequeña fracción del nuevo carbono ingresado al suelo se convertirá en carbono a largo plazo; por ejemplo Lal citado por Reichstein (2007) estimó que el potencial del carbono secuestrado en el suelo para el 2050 será entre 30 a 60 GtC.

La EFI *Ciénaga de Zapata* se caracteriza por contar con suelos mayormente cenagosos, seguidos por Ferralítico Amarillo sustentados sobre caliza o mal drenaje ya sea temporal o permanentemente inundados. La vegetación presente contribuye al mejoramiento de estos suelos y por ende a la retención o secuestro de carbono.

Para estimar el carbono retenido en el suelo fue utilizado el valor promedio de carbono retenido por los bosques tropicales en el caso de las plantaciones 123 Mg/ha y los reportes de carbono retenido en el suelo de cada formación vegetal. Atendiendo a ello se obtuvieron en el estudio los siguientes resultados:

### **Plantaciones adultas**

En este estudio las plantaciones adultas retuvieron 524816.4 Mg (123.00 Mg/ha) de carbono en el suelo, constituyendo *R. mangle* el ejemplar arbóreo de máximos valores, con un total de 322235.4 MgC en 2619,80 ha de superficie, representando 61.40% del carbono retenido en el suelo por las plantaciones. Tal resultado se encuentra influenciado por el área ocupada, siendo la especie de mayor extensión territorial (61.40% del área total plantada) (Fig. 54).

Teniendo en cuenta el aspecto metodológico, esta especie retiene un total de 379097.53 Mg (144.70 MgC/ha).

Los suelos donde se sustentan *T. elatum* y *C. equisetifolia* acumulan 4784.70 MgC (0.91%) y 21328.20 MgC (4.06% del carbono total retenido en el suelo).

Sin embargo, los resultados obtenidos a escala de laboratorio, reportan que en suelos de mal drenaje donde se sustentan plantaciones de estas especies es retenido 4.3% a 5.27% por *C. equisetifolia* y 12.17% a 17.55% *T. elatum*; si tal complemento es tenido en cuenta, entonces se registrarían valores entre 22588.98 MgC – 27684.63 MgC en la primera especie y 63988.79 MgC- 92276.36 MgC en la segunda. Esta diferencia porcentual entre ambas especies del carbono retenido puede ser debido al grado de deposición de materia orgánica de las mismas, y aunque *C. equisetifolia* es considerada una especie formadora de suelos es una especie siempre verde o perennifolia; además cabe destacar que el área foliar de *T. tilaceum* es superior y como especie semicaducifolia aporta una considerable cantidad de humus al sustrato.

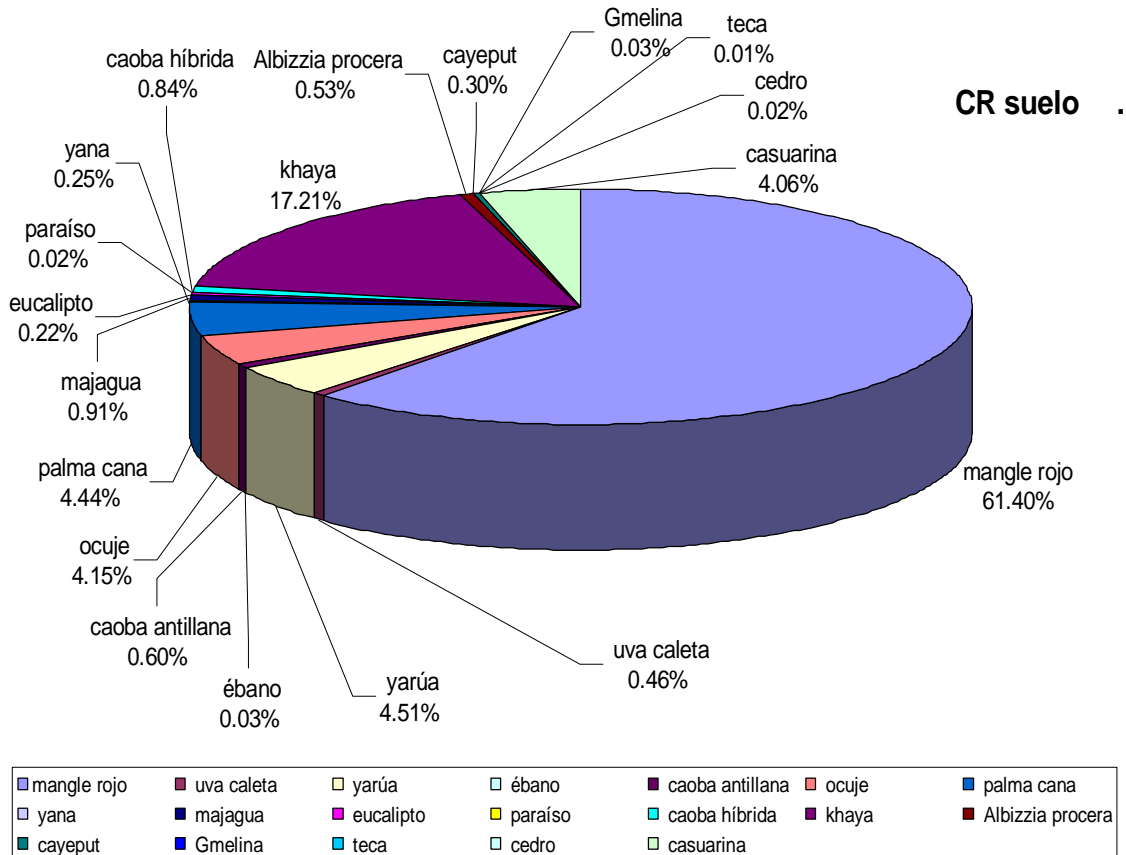


Fig. 54. Carbono retenido en el suelo.

Esto reafirma que cualquier cambio en el carbono en el suelo será causado por un desbalance entre el carbono que entra dentro del suelo por vía de la producción primaria y el perdido por vía de la descomposición, cualquier aumento en la producción primaria (biomasa) tenderá a incrementar el carbono secuestrado en el suelo, pues sobre éste incide el CO<sub>2</sub>, deposición de N<sub>2</sub> (Reichstein, 2007).



## **Bosques naturales**

Los bosques naturales retienen en su suelo 10687407.60 MgC equivalente a 41.26 MgC/ha (21,43% de carbono retenido en suelos de la región tropical según cifras de Moreno y Oberbauer, 2008, los cuales reportan 192,52 MgC/ha en bosques secundarios a una profundidad de 0 a 40 cm), constituyendo los bosques semicaducifolios sobre caliza los de mayor retención con 76,00 MgC (6638250.40 Mg). Hay que señalar que ésta vegetación comprende una abundancia de especies que depositan una considerable cantidad de materia orgánica tales como *L. latisiliquum*, *C. odorata*, *S. foetidissimum* entre otras.

Los suelos del uveral retienen poco carbono producto a que en esta formación la especie predominante presenta una hoja de constitución un poco coriácea lo cual implica que la descomposición de la misma sea más retardada, proceso influyente en la tasa de SOC, uno de los componentes principales del secuestro de carbono en el sustrato (Lal, 2006).

En el caso de los suelos de manglar se omitió esta valoración debido a que una parte variable del área cubierta por esta formación está formada por agua y como generalmente no es posible delimitar que parte está formada por suelo, se decidió omitir este valor como medida de seguridad.

El carbono retenido por los suelos de los bosques naturales es inferior al reportado por Ganoso y citado por Jandl (2003) en un bosque secundario en Chile (140 Mg/ha). Sin embargo, se encuentran entre el rango reportado por Feller *et al* (2006) en un estudio realizado en Martinico, donde se alcanzan valores de 22,9; 23,3 y 30,8 MgC/ha, mientras que en Haití se denotó 30 MgC/ha secuestradas, echo ocasionado a que estas áreas de estudio pertenecen a la misma región geográfica. Feldpausch *et al* (2004) en los suelos de un bosque secundario regenerado, en el Amazonas donde a una profundidad de 45 cm, se registra entre 42 Mg/ha a 84 Mg/ha. Esto puede ser ocasionado por las diferencias ecológicas (temperatura y suelo) intervienen en la regulación de la fijación de carbono pues son las encargadas de modificar el proceso de

formación de la materia orgánica en el sustrato. Además, las 41.26 MgCO<sub>2</sub>/ha retenidas en los suelos de los bosques naturales, representan 24.80%, encontrándose dentro del registro dado por FAO (2000) al citar que los suelos de los bosques del Amazonia retienen el 28% del carbono retenido total.

Esto reafirma los planteamientos dados por Lal (2006) el cual comenta que el secuestro de carbono en el suelo depende de un número amplio de factores entre los que se destacan el clima y el tipo de suelo.

Atendiendo a la categoría de bosque, los suelos de los bosques productores (Fig.56) retienen la mayor cantidad de carbono con 7974353.2 Mg (74.61%). En este tipo de bosque, como se ha planteado anteriormente en otros acápite contenidos en este trabajo, está representado principalmente (Caballero *et al*, 2007) por la formación semicaducifolia sobre caliza, siendo ésta la de mayor retención de carbono en el suelo.

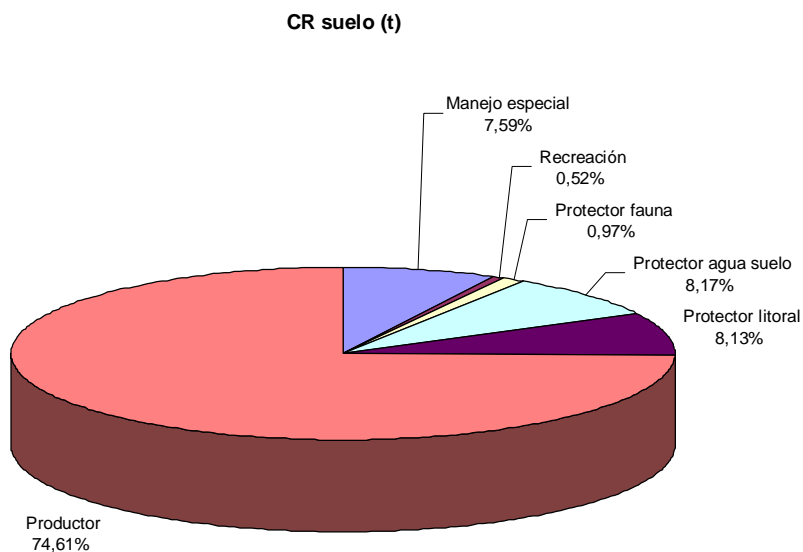


Fig.56. Estimado del carbono retenido en los suelos de cada categoría de bosque.



Todos estos resultados validan los criterios de Jarvis *et al* (2007) al referir que la cantidad de carbono secuestrado en el suelo depende de los desechos bajo el suelo (raíces) y restos de corta que existan sobre éste (tocones, ramas cortadas).

De forma general, la formación vegetal semicaducifolia sobre mal drenaje concentró la mayor cantidad de carbono total retenido con 200,14 MgCO<sub>2</sub>/ha debido a presentar las mayores proporciones en cuanto a carbono reservado en la biomasa aérea y total, lo cual sumado al CO<sub>2</sub> guardado en el suelo, propician esta cualidad. Atendiendo a la categoría de bosque, los montes productores con un total de 192,09 MgCO<sub>2</sub>/ha representan la categoría preponderante pues con 72,68 MgCO<sub>2</sub>/ha almacenan la mayor concentración de carbono en el sustrato.

En conclusión, el efecto del CC sobre el carbono en los suelos de los bosques es difícil de diagnosticar, ya que atendiendo a planteamientos dados por Reichstein (2007), este depende del balance entre la productividad primaria y la descomposición, además los modelos matemáticos derivados de disímiles estudios, tienden a mostrar un efecto directamente negativo de la relación temperatura-CC sobre el carbono secuestrado por los bosques, pero el efecto total del CC (incluyendo la elevación de la concentración de CO<sub>2</sub>) dependen de la región y la escala temporal.

### **Estimado del carbono retenido en las áreas por reforestar.**

La vegetación presente en estas zonas hace un aporte significativo al acumulado de carbono secuestrado por la biomasa. La entidad en estudio cuenta con una existencia total de 11202,20 ha para almacenar en ellas un total de carbono retenido entre 593716.60 Mg a 742508.92 Mg (I y II metodología) retenido en vegetación y suelo equivalente a 53.00 MgCO<sub>2</sub>/ha (I metodología) a 66,28 MgCO<sub>2</sub>/ha, registros superiores al reporte dado por Cordero *et al* (2004) en áreas de la EFI Mayabeque en el cual se registró, atendiendo al II metodología, 52,99 MgCO<sub>2</sub>/ha.

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla. 31. Carbono retenido en las áreas por reforestar (I metodología).

Tipo de área	Área (ha)	CR biomasa (Mg)	CR suelo (Mg)	CR total (Mg)	CR total (Mg/ha)
Calvero	2972.40	44586.00	112951.20	157537.20	
Bosque ralo	6792.90	101893.50	258130.20	360027.70	
Lugar talado	567.50	8512.50	21565.00	30077.50	
Superficie quemada	869.40	13041.00	33037.20	46078.20	
<b>TOTAL</b>	<b>11202.20</b>	<b>168033.00</b>	<b>425683.60</b>	<b>593716.60</b>	<b>53.00</b>

Tabla. 32. Carbono retenido en las áreas por reforestar (II metodología).

Tipo de área	Área (ha)	CR biomasa (Mg)	CR suelo (Mg)	CR total (Mg)	CR total (Mg/ha)
Calvero	2972.40	87388.56	112951.20	200339.76	
Bosque ralo	6792.90	199711.26	258130.20	457841.46	
Lugar talado	567.50	16684.50	21565.00	38249.50	
Superficie quemada	869.40	13041.00	33037.20	46078.20	
<b>TOTAL</b>	<b>11202.20</b>	<b>316825.32</b>	<b>425683.60</b>	<b>742508.92</b>	<b>66.28</b>

### Cálculo del carbono en las áreas inforestales.

EFI *Ciénaga de Zapata* cuenta con un área de 160076.80ha atendiendo a reportes ofrecidos en el 2006, reteniéndose en las mismas un total de 964.00 Mg/ha de carbono, de las cuales 70.72% corresponden a ciénagas, factor influenciado por la superficie ocupada por estas. Se incluye además, los viales, asomos rocosos, instalaciones u otras áreas no acumuladoras de carbono, solo en 156801,50 ha se representan las ciénagas, pastizales, tierras agrícolas y de pastoreo, entre otras, preservándose un total de 6722365.50 Mg equivalentes a 42.87 Mg/ha de carbono retenido en la biomasa.

El estudio estimó que las zonas cenagosas retienen una concentración superior de carbono con relación al resto de las categorías, presentando en la biomasa total 6719794,90 Mg (43.00 Mg/ha) con 107204169.80 Mg de aporte total (686.00 MgCO<sub>2</sub>/ha); esto es ocasionado por la acumulación de turba presente en las mismas. Los valores específicos se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla.33. Carbono retenido en las áreas inforestales

Tipo de área	Área (ha)	Coef. Vegetc	Coef. Suelo	Cr biomasa (Mg)	Crbiomas Mg/ha	Cr suelo (Mg)	CR total	CR total Mg/ha
pastizal	501,4	5	33	2507,00	5,00	16546,20	19053,20	38,00
ríos arroyos	2703,2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
viales	285,6	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
instalaciones	82,2	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ciénagas	156274,3	43	643	6719794,90	43,00	100484374,90	107204169,80	686,00
pastoreo	4	5	33	20,00	5,00	132,00	152,00	38,00
vivero	5	2	80	10,00	2,00	400,00	410,00	82,00
aserrío naves	26,4	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
autoconsumo	16,8	2	80	33,60	2,00	1344,00	1377,60	82,00
otros	177,9							
<b>TOTAL</b>	<b>160076,8</b>			<b>6722365,50</b>	<b>41.99 (+57,00)</b>	<b>10066797,10</b>	<b>107225162,60</b>	<b>669.84 (+964,00)</b>

### Cálculo del total de carbono retenido por la EFI *Ciénaga de Zapata* en el año base.

Teniendo en cuenta los datos recopilados en el año 2006 y tomando en consideración los resultados obtenidos mediante el empleo de la metodología II propuesta por Mercadet y Álvarez (2006), la entidad retiene 338.58 Mg/ha de carbono, subdivididas, atendiendo a las categorías en:

Tabla.34. Carbono retenido por la entidad atendiendo a reporte 2006.

Categorías	Área (ha)	CR total (Mg)	CR total (Mg/ha)
Sup inforestada	160076,8	<b>107225162,60</b>	<b>669,84</b>
Área por reforestar	11202,2	742508,92	66,28
Plantación adulta	4266,8	710012,72	166,40
Plantación joven	2296,8	291729,80	127,02
Bosque natural	259035,1	38935549,7	150,31
<b>Total</b>	<b>436877,70</b>	<b>147917530,14</b>	<b>338.58(+1179,85)</b>

El carbono retenido total por la entidad representa 0,37% del carbono retenido por los bosques de América del Norte y América Central al término del 2005, equivalentes a 40Gt según reportes de Solomon *et al* (2007).

Pero a pesar de encontrarse retenidas tales unidades de carbono, EFI *Ciénaga de Zapata* en el período 2001 al 2007 redujo paulatinamente sus áreas boscosas, siendo el 2002 y 2005 los años más marcados, aspecto influenciado por la incidencia de talas e incendios forestales, por ello necesitará 15 años para cubrir su patrimonio (Fig.57). Esto centra su explicación en que la empresa aporta por concepto de incremento de biomasa, en los bosques naturales 1322239.66 Mg de carbono (5,10 MgCO<sub>2</sub>/ha) y en

las plantaciones 18375.35 Mg (2,80 MgCO<sub>2</sub>/ha), de las cuales 12092,76 Mg se registran en las adultas y 6282,59 Mg en las jóvenes; 11796.00 Mg de carbono antes de la plantación; las áreas por reforestar aportan unas 7415.41 Mg. Pero, de sus bosques retira por concepto de tala rasa 33225,85 Mg y 11002,68 Mg por otras talas; por los incendios (teniendo en cuenta la superficie media afectada entre los años 2001 al 2007) 497050,30 Mg de carbono se pierden emitiendo de esta forma parte del carbono retenido en la masa boscosa y por tanto actúa como una fuente de GEI.

El balance entre el carbono aportado y el retirado o emitido, mostrado por la Empresa en ese período, es 818547.59 Mg.

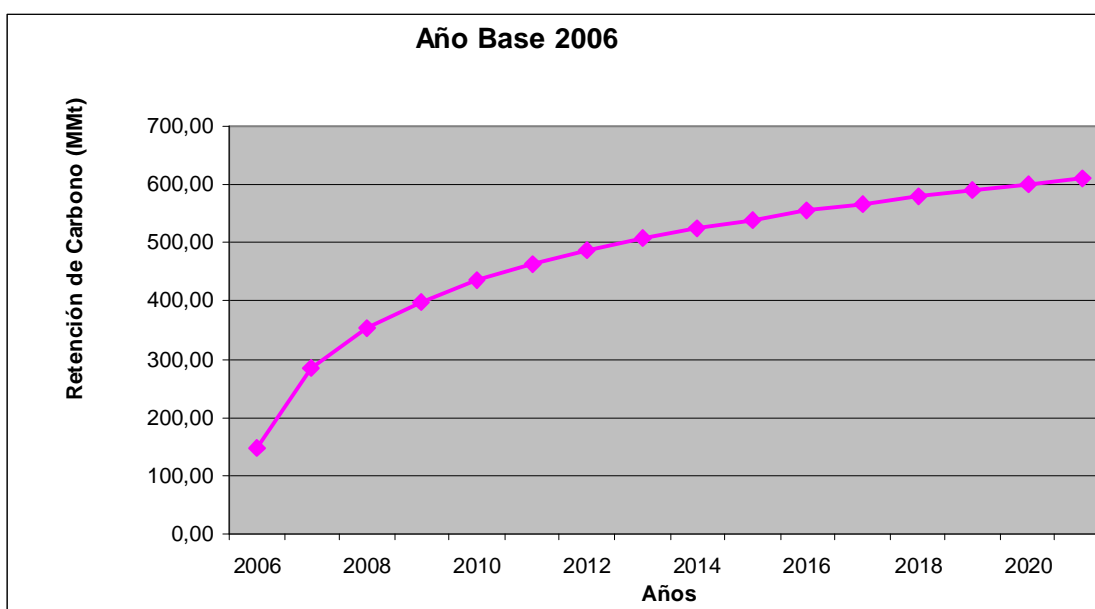


Fig.57. Línea base de carbono para la EFI atendiendo a dinámica 2006.

## **Primera alternativa de estrategia para la mitigación de los efectos del cambio climático en el sector forestal.**

La Entidad en estudio presenta una variación de la línea base en el tiempo de forma ligeramente ascendente. Se determinó que la empresa requiere de 15 años para cubrir todo su patrimonio forestal, por ello se hace necesario que la entidad oriente su Silvicultura al incremento de las plantaciones forestales teniendo en cuenta el empleo de aquellas especies de mayor retención del carbono sin obviar la aptitud o características ecológicas de las mismas.

La estrategia a emplear por la Empresa debe ser encaminada hacia la remoción de carbono atmosférico mediante la conservación del carbono retenido, disminuyendo la deforestación, el almacenamiento en áreas marginales o taladas por medio del incremento de plantaciones, enriquecimiento o restauración de bosques empleando, sobre todo, mezclas de aquellas especies de mejores adaptadas, sobre todo de mayor retención de carbono como son: *Guaiacum officinale*, *L. latisiliquum*, *Colubrina arborescens*, *Calophyllum calaba*, *Casuarina equisetifolia*, *Conocarpus erectus*, *Bucida buceras*; *Erythroxylon confusum*, *Metopium toxiferum*, *Manilkara jaimiquí*. Otras especies a considerar son *Eugenia buxifolia* (Sw) (guairaje), *Cupania glabra* Sw (guara), *Talipariti elatum*; teniendo en consideración que *B. buceras* y *L. latisiliquum*, las cuales presentaron individuos con capacidad de asimilar elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>, donde *T. elatum* presentó punto de asimilación máxima elevado, lo cual se traduce en una mejor eficiencia de la utilidad del carbono.

La conservación del carbono retenido mediante el manejo sostenible de los bosques existentes.

Con relación al secuestro, la Entidad debe enfocarse a la elaboración de productos de vida útil prolongada como son traviesas, postes, parquets, etc.

Otra medida ha cumplimentar por la Centro, es la prevención y reducción de la ocurrencia de incendios forestales mediante las medidas necesarias y conocidas tales como la construcción de trochas corta fuego, recogida de material residual después de efectuar cualquier tipo de tala, pues la empresa emitió por este concepto entre 2001-2007 17,44 MgCO<sub>2</sub>/ha/año (método 1) o 82,37 MgCO<sub>2</sub>/ha/año (método 2) traducidas en 8,15 MgCO<sub>2</sub>eq/ha contribuyendo así al incremento de la presencia de este gas en la atmósfera y con ello a la agudización del cambio climático, sustituyendo, siempre que sea posible, materiales de construcción tales como el concreto por madera pues según Rollinson (2007) reemplazando un metro cúbico de concreto con el mismo volumen maderable puede dejarse de emitir una tonelada de carbono .

### **Valoración económica.**

La teoría económica de los recursos naturales es una disciplina relativamente joven que comenzó a desarrollarse en la segunda mitad de la década de los años 70. (Gloria, 2001)

Hauwermeiren (1998) la cataloga como la ciencia de la gestión de la sustentabilidad o como la ciencia que estudia las relaciones entre los sistemas económicos y los ecosistemas a partir de una crítica ecológica de la economía convencional, cuyos objetivos son entregar una crítica ecológica de la economía convencional; reflexionar a escala social sobre equidad, distribución, ética, cultura y sustentabilidad ecológica de la economía; estimular la capacidad de análisis sobre las relaciones entre los sistemas económicos y ecológicos y sobre la integración en un nuevo paradigma de sustentabilidad; entre otras.

En Cuba entre los aspectos que favorecen la valoración económica del Medio Ambiente se encuentra la inclusión de esta problemática en la política ambiental del país y en el marco legislativo que la sustenta.

La valoración económica de tales recursos naturales y servicios ambientales constituye un tema que posee suma relevancia en la práctica internacional actual y su clasificación depende del criterio que se elija, siendo el más utilizado el criterio temporal, o sea, la mayor o menor velocidad con que se reponen los recursos naturales (Gloria, 2001).

Teniendo en cuenta la referencia de que 1 m<sup>3</sup> de madera dura y/o semidura equivale a un valor de 100 \$ y 80 \$ respectivamente como precio interno para maderas preciosas según datos del Departamento de Economía de la Empresa, considerando que 70% de los metros cúbicos presentes en las áreas afectadas se catalogan como madera preciosa y aplicando el principio de **beneficio bruto** (Gloria, 2001), conociendo además, las pérdidas a tener por la entidad según escenario IS92-A, se infiere que:

Tabla.35. Costo monetario de para la EFI atendiendo al impacto sufrido por el aumento del nivel del mar.

Años	Área total afectada (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Considerando un 70% (m <sup>3</sup> )	Valor monetario (\$)	
				100 \$	80 \$
2030	4197.50	38189.87	26732.91	2673290.91	2138632.80
2050	6074.70	52733.28	36913.30	3691330.00	2953064.00
2100	156162.40	180647.44	126453.21	12645321.00	10116256.00

Según escenario descrito por el Instituto de Oceanología de Cuba la situación sería la siguiente:

Tabla.36. Costo monetario de la EFI atendiendo al impacto sufrido por el aumento del nivel del mar.

Años	Área total afectada (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Considerando un 70% (m <sup>3</sup> )	Valor monetario (\$)	
				100 \$	80 \$
2030	3537.03	31081.62	21757.13	2175713.00	1740570.40
2050	5988.15	51802.71	36261.90	3626190.00	2900952.00
2100	13219.20	159754.54	111828.18	11182818.00	8946254.40



Según los resultados del estudio sobre el potencial mitigación de la región centroamericana realizado por el PBCC, Centroamérica podría llegar a comercializar en el mercado internacional unos 250 millones de toneladas métricas carbono durante el período 2003-2012, en casi 18 millones hectáreas que clasifican como Tierras Kyoto. Los países mayor nivel de carbono neto final son, en orden importancia, Panamá, Honduras y Nicaragua y, en menor medida, Guatemala, El Salvador, Costa Rica y Belice. (Castro, 2004).

Tomando como base el supuesto económico que 1 t de carbono equivale a 10 USD, y los reportes ofrecidos en el año 2006, así como el carbono retenido, se infiere lo siguiente:

Tabla.37. Valoración económica en cuanto al carbono retenido para la EFI: Reporte 2006.

Componente	Área que ocupa. (ha)	CR biomasa total (t/ha)	Valoración económica		
			(USD)	Beneficio bruto	
				100 \$	80 \$
Plantación joven	2296,8	3.99	39.90	399.00	319.20
Plantación adulta	4266,8	43.18	431.80	4318.00	3454.40
Bosque natural	259035,1	109.05	1090.50	10905.00	8724.00
Área por reforestar	11202,2	28.28	282.80	2828.00	2262.40
Área inforestal	160076.80	41.99	419.90	4199.00	3359.20
<b>TOTAL</b>	<b>436877.7</b>	<b>226.49</b>	<b>2264.90</b>	<b>22649.00</b>	<b>18119.20</b>

## **IMPORTANCIA SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.**

Esta se centra en que se profundiza en el conocimiento del impacto del cambio climático sobre el recurso bosque mediante la determinación cualitativa y cuantitativa de los impactos a esperar debido al aumento del nivel del mar y frente a eventualidades climáticas, así como el establecimiento de estrategias de adaptación y mitigación frente al cambio climático para el recurso bosque para que de esta manera la Empresa pueda gerenciar éste óptimamente y trazar una perspectiva de trabajo para el futuro, conservar los recursos bióticos posibles, minimizando con ello los daños o alteraciones de la biomasa, distribución de especies, etc. Tales beneficios se orientan, además, hacia un

*Osiris Ortiz Alvarez.*

futuro fomento de la participación comunitaria en la atención a un problema ambiental, pues dichos trabajadores podrán repercutir en la conciencia del resto de los habitantes en el ámbito forestal y ambiental mediante el conocimiento y cuidado del patrimonio florístico frente al cambio climático.

## **IMPORTANCIA AMBIENTAL.**

Teniendo en cuenta que los árboles, como todas las plantas verdes, absorben CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, se propone la reforestación como medio de contrarrestar el aumento de los GEI en la atmósfera, pues ellos son capaces de contener alrededor del 75 % del carbono natural presente en los ecosistemas (Sarre, 1994a) y aunque los árboles sólo absorben este gas cuando se desarrollan (siendo la absorción mayor en los primeros años, disminuyendo a medida que alcance su madurez), con el tiempo actúan simplemente como almacén de carbono y por ello se les considera una vía factible para la **mitigación del CC**, pues el carbono contenido es una porción no emitida a la atmósfera. Además, la Entidad podrá mejorar la gerencia del recurso forestal.

## **CONCLUSIONES.**

- De 436877,78 ha existentes en la empresa, en 2100, áreas de la formación manglar y bosques semidesiduos se afectarán por el aumento del nivel del mar. Un aumento del nivel del mar, al provocar un cambio en la línea de marea; también propiciará un aumento de los volúmenes de agua en las ciénagas, impactando en el 2100 áreas de manglar, bosques semicaducifolios y herbazal de ciénaga; entre 2001 al 2007 se emitió entre 17.44 MgCO<sub>2</sub>/ha a 82.37 MgCO<sub>2</sub>/ha traducidas en 8,15 MgCO<sub>2</sub>eq/ha por el impacto de los incendios forestales, ocurriendo el 8% de las emisiones en los bosques naturales.
- Se denotó variabilidad intraespecífica respecto al impacto ocasionado por el incremento de CO<sub>2</sub> sobre la fotosíntesis, disminuyendo la actividad fotosintética en *C. calaba*; *T. elatum*; *B. simaruba*, aunque *T. elatum* resultó ser una de las especies en alcanzar un punto de asimilación máxima elevado. Contrario a estas, *R. mangle*; *S. morotoni*; individuos de *B. buceras* y *L. latisiliquum* soportan el incremento de la concentración de dióxido de carbono.
- *C. equisetifolia* y *C. calaba* presentan los mayores estimados de carbono retenido en las plantaciones adultas las especies, mientras *C. equisetifolia* y *C. arborescens* registran los valores más elevados; *E. buxifolia*, *L. latisiliquum* y *T. elatum* mostraron mayor capacidad para secuestrar carbono por cada unidad de nitrógeno empleado. En los bosques naturales se concentran la mayor cantidad en la formación semicaducifolio sobre mal drenaje y manejo especial.

- Los suelos donde se sustenta las plantaciones adultas retienen 524816.40 MgCO<sub>2</sub>, mientras que 282506.40 MgCO<sub>2</sub> se registran en las plantaciones jóvenes, constituyendo *R. mangle* la especie de ingresos elevados debido a la superficie ocupada por ésta, representando 61.40% del carbono retenido en el suelo por las plantaciones. Los bosques naturales retienen 10687407.60 MgCO<sub>2</sub>, concentrándose la mayor cantidad en los bosques semicaducifolios sobre caliza y los productores, aspecto influenciado por la superficie ocupada.
- Las áreas por reforestar muestran un estimado entre 53.00 MgCO<sub>2</sub>/ha a 66.28 MgCO<sub>2</sub>/ha de carbono retenido total.
- Las áreas inforestales reportan 669.84 MgCO<sub>2</sub>/ha retenido total, de las cuales 70.72% corresponden a ciénagas, factor influenciado por la superficie ocupada por estas. Se preserva 41.99 MgCO<sub>2</sub>/ha en la biomasa.
- EFI Ciénaga de Zapata presenta una variación de la línea base en el tiempo de forma ascendente, pero necesitará de 15 años para cubrir su patrimonio forestal pues paulatinamente se han reducido sus áreas boscosas por concepto de incendio y talas.

**RECOMENDACIONES.**

- La entidad debe enfocar su Plan de Manejo atendiendo a las estrategias de adaptación y mitigación descritas en el estudio.
- Continuar realizando estudios en cuanto al comportamiento de las especies frente al incremento de carbono.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- Adger, A.; S. Brown** (1994). **En:** M. Kanninen, 2001. *Bosques tropicales y ciclo de carbono*. CATIE. Curso Internacional Proyecto de Cambio Climático en los sectores forestal y energético. Oportunidades de desarrollo para los países latinoamericanos.
- Almeida, M.** (2006). Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Ecológicas. Universidad Alicante/Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba.
- Álvarez, A.** (2009). Encuentro Nacional de Trabajo. Febrero, IIF, C. Habana.
- Álvarez, A.** (2008). Informe Final de Subproyecto. *Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación*. Cuarta aproximación. C. Habana, Cuba, Instituto de Investigaciones Forestales. 57p.
- Álvarez, A.** (2006). *El cambio climático y el sector agrario cubano: Presentación al Consejo Técnico Asesor del Ministerio de la Agricultura*. Instituto de Investigaciones Forestales, Marzo. C. Habana. 26 p.
- Álvarez, A; C. Milián; H. Gra; J.M. García.** (1999). *Evaluación de las opciones de mitigación del cambio climático en el sector forestal cubano*. Instituto de Investigaciones Forestales (IIF). C. Habana. 23 p.
- Álvarez, A; C. Milián; Leyla Álvarez.** (1998). *Estudios de caso nacional para la evaluación de los impactos del cambio climático y las medidas de adaptación*. IIF. C. Habana. 23 p.
- Anónimo.** (2007). *Economía y sociedad*. Universidad para Todos. TV Cubana, Canal Educativo. Noviembre.
- Anónimo.** (2005). *Cambio climático puede aumentar el hambre*. Periódico Granma. Año 41 N° 125. C. Habana. 27 de Mayo. p.4.
- Anónimo.** (2005a). El ciclo del carbono. Rev. La Ciencia Ecológica: Ecología General. Internet. p.1.
- Anónimo.** (2004). *Cambio climático ocasionará veranos europeos más calurosos y secos*. En Ciencia y Técnica; Periódico ORBE, Semanario Internacional Edit: Prensa Latina. 17-23 Enero. p.13.

- Anónimo.** (2000). *Los bosques y los cambios climáticos*. Marzo. Dirección General de Políticas Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional. 200 Promenade du Portage, Hull. Québec, K1A 0G4 CANADÁ. [ralph\\_roberts@acdi-cida.gc.ca](mailto:ralph_roberts@acdi-cida.gc.ca). p. 4-5
- Anónimo.** (1998). *Manual de guía de especies vegetales vedadas en vía de extinción y de frecuente comercialización*. Edit: Talleres de Artes Gráficas Univalle. Departamento Administrativo Medio Ambiente. Alcaldía Mayor Santa Fe de Bogotá DC. p. 89.
- Anónimo.** (1997). Economics Press Service. Año 10, N° 18, Sept.
- Arayara, P.** (1997). *Políticas para la conservación de la diversidad biológica en los sistemas de áreas protegidas de América Latina y El Caribe*. Documento Técnico N° 24, Proyecto FAO/PNUMA FP. Stgo de Chile. p.33-41.
- Arentz, F.** (2004). *Los bosques y los cambios climáticos*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol.12, N° 1. OIMT, Yokohama, Japón. p.1.
- Arteaga, Eva M;** A. Álvarez; C. Delgado; P de la Torre; Guadalupe Gómez; Gloria González; P. Chávez; J.C. Menéndez de San Pedro; S. Estévez; J. Carrera; Mérida Rodríguez; Eida Rodríguez; J. Quintero. (2008). Informe Final GRUPO: *Plagas y enfermedades transfronterizas y su relación con el cambio climático*. MINAG; La Habana, Cuba. 4p.
- Ashkenazy, Y.; R. Baker; H. Gildor; S. Havlin** (2003). *Nonlinearity and multifractality of climate change in the past 420, 000 years*. AGU Geophysical Research Letters. Vol. 30, N° 22. Edit: American Geophysical Union. p.2146. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2003/2003/GI018099.shtml>.
- Asquith, N.** (2000). *El Protocolo de Kyoto, la OIMT y los bosques tropicales*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 8, N° 3. OIMT, Yokohama, Japón. p. 8-9.
- Azcón-Bieto, J; A. Pardo; Núria Gómez; JJ Irigoyen, M. Sánchez.** (2003). *Respuestas de la fotosíntesis y la respiración en un medio ambiente variable*. La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis. Capítulo 28; España, p. 874.
- Ball, P.** (2002). Los bosques y el calentamiento global. Rev. El escéptico digital. ARP- Sociedad para el Avance del Pensamiento Crítico. 4 p.

- Benítez, J.Y.** (2006). *Estimación de la biomasa total en plantaciones de Casuarina equisetifolia Forst. de la provincia Camagüey, Cuba*. Tesis presentada en opción al grado en Doctor en Ciencias Ecológicas. Universidad de Alicante-Universidad Hnos Saíz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba.
- Bergos, J.** (1965). *Maderas de construcción, decoración y artesanía*. Edit: Gustavo Pili S. A. Barcelona, España. p.1-7.
- Bernoux, M; B. Volkoff** (2006). *Soil carbon stocks in soil ecoregions of Latin America*. In: Carbon sequestration in soils of Latin America. Food Products Press. N. York, London, Oxford. p. 65-75.
- Betancourt, A.** (2000). *Árboles maderables exóticos en Cuba*. Editorial: Científico-Técnica, La Habana, Cuba.p.81.
- Betancourt, A.** (1988). *Silvicultura especial de los árboles maderables tropicales*. Editorial: Científico- Técnica, La Habana, Cuba.p.342-356.
- Bisse, J.** (1988). *Árboles de Cuba*. Edit: Científico- Técnica. C. Habana, Cuba. 384 p.
- Blaser, J.** (2002). *Punto de vista*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol.10, Nº 4. OIMT, Yokohama, Japón. p.31.
- Blaser, J; J. Douglas.** (2000). *El futuro de los bosques*. Revista Actualidad Forestal Tropical, vol.8, Nº 4. OIMT, Yokohama, Japón. p.9-14.
- Bolin, B.; Sukumar, K.** (2000). **En:** M. Kanninen, 2001. *Bosques tropicales y ciclo de carbono*. CATIE. Curso Internacional Proyecto de cambio climático en los sectores forestal y energético. Oportunidades de desarrollo para los países latinoamericanos.
- Bonner, J.; A. Galston** (1965). *Principios de fisiología vegetal*. Edit: Instituto del Libro. La Habana, Cuba. p.3-47.
- Booth, T. H.** (1994). *Las plantaciones y los cambios climáticos*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 2, Nº 2, abril-junio. OIMT, Yokohama, Japón. p.8.
- Bravo, F.; V. Le May; R. Jandl; K. Von Gadow** (2008). *Managing forest ecosystems: The challenge of climate change*. In: Managing Forest Ecosystem. Springer. ISBN 978-1-4020-8342. p. 6.
- Bravo, F.; M. del Río; A. Bravo; C. del Peso; G. Montero** (2008 a). *Forest management strategies and carbon sequestration*. In: Managing Forest Ecosystem. Springer. ISBN 978-1-4020-8342. p. 179-194.



**Brown, Sandra.** (2000). *Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono*. US Environmental Protection Agency, wesrtern Ecology Division, EEUU. 121p.

**Caballero, Leyaní; Elena Costa; R. Pérez; E. Mujica; J. L. Bocourt.** (2007). *La Ciénaga de Zapata: Orquídeas de la Reserva de la Biosfera Ciénaga de Zapata*. Univ. Estudios de Torino, Italia. p.13.

**Castaño, N.; S. Jennings; T. Clements** (2003). *La silvicultura y la biogeografía de la caoba (el macrophylla del Swietenia): UNA revisión crítica de la evidencia de la ecología*. Rev. Perspectiva-en-planta-ecología-evolución-y-Systematics. [impresión]; 6 (1-2): 37-49.

**Castro, L. R; Miriam Limia; E. O. Planos; J. M. García; M. Izquierdo; M. Hernández; Beatriz Martínez; R. Claro; A. Suárez; A. López** (2008). *Curso cambio climático. Impactos, vulnerabilidad y adaptación*. Suplemento Especial, Segunda Parte. Edit: Academia. ISBN: 978-959-270-129-8. La Habana, Cuba. 16p.

**Castro, Mirza.** (2004). *Centroamérica se prepara frente al cambio climático*. Rev. Cambium. Boletín Informativo sobre cambio global del centro de investigación Carbono & Bosques. Vol. 2, Nº 3, Marzo. p. 3. [carbonoybosques@hotmail.com](mailto:carbonoybosques@hotmail.com)

**Castro, R.; Sarah Cordero** (2002). *Casos de cambio climático y desarrollo. Casos latinoamericanos sobre integración en el mercado mundial de servicios de reducción de carbono atmosférico*. ISBN 9968-794-15-5. PNUD/INCAE/CCAD. 145p.

**CATIE.** (2001). *Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales*. Nº 145, Mayo. Turrialba, Costa Rica. p. 1.

**CATIE.** (2000). *Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales*. Nº 125, Octubre. Turrialba, Costa Rica. p. 1.

**CATIE.** (2000a). *Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales*. Nº 119, Julio. Turrialba, Costa Rica. p. 1

**CATIE.** (1999). *Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales*. Nº 100, Diciembre. Turrialba, Costa Rica. p. 1-2.

**CATIE.** (1999b). *Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales*. Nº 96, Diciembre. Turrialba, Costa Rica. p. 1-2.

- CATIE.** (1999c). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. N° 58, Marzo. Turrialba, Costa Rica. p. 1.
- CATIE.** (1999d). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. N° 56, Marzo. Turrialba, Costa Rica. p. 1.
- CATIE.** (1998). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. N° 48, Noviembre. Turrialba, Costa Rica. p. 1.
- CATIE.** (1997). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. N° 24, Diciembre. Turrialba, Costa Rica. p. 1-2.
- CATIE.** (1997a). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. N° 21, Noviembre. Turrialba, Costa Rica. p. 1.
- CATIE.** (1997b). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. N° 9, Septiembre. Turrialba, Costa Rica. p. 1.
- CATIE.** (1997c). Nota Técnica sobre manejo de semillas forestales. N° 1, Julio. Turrialba, Costa Rica. p. 1.
- CATIE.** (1991). *Guácimo (Guazuma ulmifolia) especie de árbol de uso múltiple en América Central.* Serie Técnica. Informe Técnico N° 165. Turrialba, Costa Rica. 59 p.
- CATIE.** (1991a). *Casuarina (Casuarina equisetifolia) especie de árbol de uso múltiple en América Central.* Serie Técnica. Informe Técnico N° 173. Turrialba, Costa Rica. 52 p.
- Centella, AJ. Llaness; L. Paz** (2001): Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República de Cuba. 166 pp.
- Cerri, CC; M. Bernoux; CEP Cerri; R. Lal** (2006). *Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America.* In: Carbon sequestration in soils of Latin America. Food Products Press. N. York, London, Oxford. 554p.
- Che-Yeom, F. B.; Ch. Chandrasekharan.** (2002). *Medidas para la ordenación forestal sostenible en Indonesia.* Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol.10, N° 1. OIMT, Yokohama, Japón. p. 11.
- Christiansen, B. O.** (2003). *Evidence for nonlinear climate change: two stratospheric regimes and a regime shift.* Journal of climate. ISSN 0894-8755. Vol.16, N° 22. CAT. INIST. Edit: American Meteorological Society. Boston, M.A., EEUU. p.3681-3691. <http://cat.inist.fr/?aModele=affiche N&cpsidt=15308678>.

**CITMA** (2008). *Informe sobre la evaluación de los principales impactos ambientales provocados por los huracanes Gustav e Ike en el archipiélago cubano*. Grupo de Evaluación de Riesgos, AMA. Oct. Soporte electrónico. PDF. 116 p.

**CITMA Ciénaga de Zapata** (2007). Encuentro entre Estaciones. Marzo, Matanzas

**Collazo, Vivian y Teresa Vives.** (2003). *Desertificación y sequía: Peligros ignorados por muchos*. En Ciencia y Técnica; Periódico ORBE, Semanario Internacional. Edit: Prensa Latina. 30 Agosto-6 Sept. p. 12.

**Cordero, Elsa; Alicia Mercadet; A. Álvarez; O. Rodríguez.** (2004). *Estudio de caso sobre la mitigación del cambio climático por los bosques. La EFI Mayabeque de provincia Habana: Segunda aproximación*. Memorias del 3er Congreso Forestal de Cuba. Inst. Invest. Forestales. La Habana.

**Cuerpo de Guardabosque.** (2008). Programa de Radio Progreso. La Habana, Cuba. Marzo. 7:45 am.

**Cuerpo Guardabosque.** (2006). *Métodos y técnicas para la evaluación del daño provocado por los incendios forestales*. MININT. La Habana, Cuba. 15p.

**Chapin, F.S** (1980). *The mineral nutrition of wild plants*. Annual Review of Ecology and Systematics 11:233-260.

**Del Valle, A.** (2005). *El Atlántico tiene fiebre*. Periódico Juventud Rebelde. C. Habana. Cuba, 14 Sept. p. 5.

**Del Valle, A.** (2005a). *¿Una sombrilla para la tierra?* Periódico Juventud Rebelde. C. Habana. 22 Sept. p. 5.

**Diago, Ivonne** (2007). *Patrimonio forestal de Cuba: Situación actual. Año 2006*. Memorias del IV Congreso Forestal de Cuba. La Habana, Palacio de las Convenciones, 17-20 de abril.

**Estévez, J.** (2008). *Cambio climático: su acción en los océanos*. Curso Cambio Climático. Universidad para Todos. TV Cubana, C. Habana, marzo 11.

**FAO.** (2007). *Situación de los bosques en el mundo*. CD ISBN 978-92-5-305586-9. Roma, Italia.

**FAO** (2006). *Los diferentes escenarios de la captura de carbono. Capítulo IV: Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Versión PDF. MHTML. Document [www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s00.htm](http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s00.htm)

- FAO.** (2003). *Situación de los bosques del mundo*. Roma, Italia. p. 25-30.
- FAO.** (2000). *Tendencia general de la captura de carbono en el suelo*. Depósito Documento FAO. Versión PDF. [www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s04.htm#](http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s04.htm#)
- FAO** (2000 a). *La evaluación del almacenamiento de carbono en el suelo y los principales cambios*. Depósito Documento FAO. Versión PDF. [www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGL/agl/globdir/index.htm](http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGL/agl/globdir/index.htm)
- FAO** (2000 b). *Manejo de las tierras forestales, de pastoreo y cultivadas para aumentar la captura de carbono en los suelos*. Depósito Documento FAO. Versión PDF. [www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGL/agl/globdir/index.htm](http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGL/agl/globdir/index.htm)
- FAO.** (1996). *Global Climate Change and Agricultural Production: Direct and Indirect Effects of Changing Hydrological, Pedological and Plant. Rev: Physiological Processes*. Edit: Harvard University, Cambridge. ISBN 0-471 95763-1. EEUU. p.65-70
- FAO.** (1994). *El desafío de la ordenación forestal sostenible: Perspectivas de la Silvicultura Mundial*. Roma, Italia. p. 1.
- FAO** (1994 a). *Directrices para la ordenación de los manglares*. Nº 117. Stgo de Chile.p. 20-21.
- FAO.** (1987). *Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos. Ejemplos de América Latina*. 44/3. Roma, Italia. 217 p.
- FAO.** (1970). *Estudio de preinversión para el desarrollo forestal de noroccidente: Ecuador*. Informe Final. Tomo IV. p.62.
- FAO** (1960). *Prácticas de plantación forestal en América Latina*. FAO: Cuadernos de fomento forestal Nº 15. Roma, Italia. p. 305-330.
- Feldpausch, T. R.; M. A. Rondon; E. Fernández; Susan Riha; Elisa Wandelli** (2004). *Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in Central Amazonia*. Ecological applications 14(4) S164-S176.
- Feller, C.; C. Clermont-Dauphin; C. Venkatapen; A. Albrecht; D. Arrouays** (2007). *Soil organic carbon sequestration in the Caribbean*. . In: Forestry and climate change. CAB International. ISBN-139781845932947. Edit por: PH Freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/London. p.187-211.
- Field, C. D.** (1994). *Efectos de los cambios climáticos en los manglares*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 2, Nº 2, abril-junio. OIMT, Yokohama, Japón. p. 10.

- FISICANET.** (2005). Monografías- ES06.
- Fors, A.** (1967). *Manual de selvicultura*. Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestales. IV Edición. La Habana. 221 p.
- Fors, A.** (1965). *Maderas cubanas*. III Edición. La Habana. p. 144-145.
- Fuentes, Andrea** (2007). *Los incendios forestales en la EFI Ciénaga de Zapata*. Taller Provincial de Medio Ambiente, Matanzas, Cuba. 8p.
- GIECC** (2005). *La captación y almacenamiento de dióxido de carbono*. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Informe especial del IPCC. ISBN 92-9169-319-7.
- \_\_\_\_\_, **Gloria.** (2001). Tesis Doctoral. p. 1-6.
- Gómez, R.** (2009). *El desarrollo costero y la conservación de las formaciones vegetales en el segmento litoral Rancho Luna- Pasacaballo, Cienfuegos, Cuba*. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias. Universidad Alicante, España- Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba. Capítulo 3. Enero. p.46-73.
- González, Ana M.** (2002). *Incendios forestales, cómo vencerlos*. Periódico Trabajadores. C. Habana. 4 de Nov. p. 7.
- González, Catalina.** (2003). *Carbono y bosques*. Rev. *Cambium*. Boletín Informativo sobre cambio global del centro de investigación Carbono & Bosques. Vol.1, Nº 6, Agosto. p. 3. [carbonoybosques@hotmail.com](mailto:carbonoybosques@hotmail.com).
- González, Catalina.** (2003 a). *El metabolismo de la tierra está cambiando*. Rev. *Cambium*. Boletín Informativo sobre cambio global del centro de investigación Carbono & Bosques. Vol.1, Nº 7, Septiembre. p. 1. [carbonoybosques@hotmail.com](mailto:carbonoybosques@hotmail.com).
- González, E. J.; A. Martínez** (2003). *Agricultura de conservación: la agricultura del carbono*. Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos (AEAC/SV). 3p.
- Graham, Catherine; J. E. Martínez; Leticia Cruz** (2002). *Use of fruiting trees by birds in continuous forest and riparian forest remnants in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico*. Rev. *Biotropica* -. [impresión] diciembre; 34 (4): 589-597.
- Gray, J.T; WH Schlesinger** (1983). *Nutrient use by evergreen and deciduous shrubs in southern California*. II Experimental investigations of relationship between growth, nitrogen content and nitrogen availability. *Journal of Ecology*. 71:43-56.

- Guix, J. C.** (2004). *Los bosques*. Manual de Educación Ambiental. HTML Document. p. 1.
- Gutiérrez, V.** (2003) *Alteraciones del ciclo del nitrógeno y cambio global*. Rev. *Cambium*. Boletín Informativo sobre cambio global del centro de investigación Carbono & Bosques. Vol.1, Nº 7, Septiembre. p. 3. [www.carbonoybosques.org](http://www.carbonoybosques.org).
- Gutiérrez, V. H.** (2003a). *Permanencia del carbono en actividades de aforestación y reforestación dentro del marco del mecanismo de desarrollo limpio*. Rev. *Cambium*. Boletín Informativo sobre cambio global del centro de investigación Carbono & Bosques. Vol.1, Nº 6, Agosto. p. 3. [carbonoybosques@hotmail.com](mailto:carbonoybosques@hotmail.com).
- Harmon, M.E.; O.N. Krankina; M. Yatskov; E. Matthews** (2001). *Predicting broad-scale carbon stores of woody detritus from plot-level data*. p. 533-552. In: Lal, R.; J. Kimble; B. A. Stewart. *Assessment Methods for soil carbon*, CRC Press, New York.
- Hauwermeiren; S. V.** (1998). *Manual de economía ecológica*. 264 p.
- Hechavarría, Orlidia; A. Álvarez.** (2007). *Respuesta adaptativa de las especies forestales arbóreas tropicales al efecto invernadero. Primera aproximación*. **EN:** Informe Final Subproyecto: Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación. C. Habana, Cuba. Inst. Investigaciones Forestales. 57p.
- Hechavarría, Orlidia; E. Rodríguez; N. Morales; N. Vera; G. Espín; B. Corrales; V. Fuentes.** (2000). *Calendario fenológico de 51 especies forestales en Cuba*. Rev. Mejoramiento Genético y Semillas Forestales: Rev. Forestal Centroamericana Nº 30, PROSEFOR; Boletín Nº 23, Abril-Junio. Costa Rica. p. 5-8.
- Hechavarría, Orlidia.** (1999). *Aspectos metodológicos sobre la fenología de árboles forestales*. Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales. Nº 20, Octubre; PROSEFOR, CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 15-18.
- Heimann, M.** (2007). *Present and future carbon sources and sinks*. In: *Forestry and climate change*. CAB International. ISBN-139781845932947. Edit por: PH Freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/London. p.17-24.
- Herrero, J. A.; E. Linares** (2004). *Apoyo a la potencialidad y manejo de las plantaciones forestales dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio*. Proyecto preparado por la Dirección Forestal. MINAG. 22p.



- Houghton, J. L.** (1997). *Global Warming: the complete briefing*. Segunda Edición, University Press. ISBN 0521620899- ISBN 0521629322. Nueva Cork, EEUU. 251 p.
- Huc, R.; A. Ferhi; J. M. Guehl** (1994). *Pioneer and late stage tropical rainforest tree species (French Guiana) growing under common conditions differ in leaf gas exchange regulation, carbon isotope discrimination and leaf water potential*. Rev. Ecología. 99, Edit: Springer Verlag. p.297-305.
- Ibáñez, A.; J. M. García; M. Sosa** (1999). Comunicación personal. IIF.
- ICRAF-ASB** (1998). En: M. Kanninen, 2001. *Bosques tropicales y ciclo de carbono*. CATIE. Curso Internacional Proyecto de Cambio Climático en los sectores forestal y energético. Oportunidades de desarrollo para los países latinoamericanos.
- IES.** (1999). *Cuba y sus árboles*. Catálogo. Edit: Academia. La Habana. Cuba. p. 28-143.
- IPCC.** (2007a). *Climate Change 2007- The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the IPCC. 996p.
- IPCC.** (2007 b). *Climate Change 2007-Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Forth Assessment Report of the IPCC. 973p.
- IPCC.** (2007c). *Climate Change 2007- Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Forth Assessment Report of the IPCC. 1268p.
- IPCC.** (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Vol.4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Hayama, Japón, Instituto para las Estrategias Ambientales Globales.
- IPCC** (2002). *Cambio climático y biodiversidad*. Documento Técnico V del IPCC, abril. p.36.
- IPCC.** (2001). *Climate change 2001*. Working Group II: Impacts, Adapation and vulnarability. Chapter 1. Overview of impacts, adaptation, and vulnarability. 4p. <http://www.grida.no/climate/ipcc- tar/wg2/061.htm>.
- IPCC.** (1996-Panel Intergubernamental de Expertos sobre CC). *Documento Técnico I del IPCC: Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*. p. 61-68.
- IVIC.** (2004). *Sumidero*. HTML Document. [venpres.gov.ve](http://venpres.gov.ve). Caracas.
- Jandi, R.** (2003). *Secuestro de carbono en bosques- El papel del suelo*. Rev. Forestal Iberoamericana versión electrónica Vol.1, N° 1. IUFRO. p. 57.

**Jarvis, PG; S. Linder** (2007). *Forests remove carbon dioxide from the atmosphere: Spruce forest tales!*. . **In:** Forestry and climate change. CAB International. ISBN-139781845932947. Edit por: PH Freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/London. p.60-72.

**Jiménez, A.** (2006). *Por la conservación y manejo sostenible de la biodiversidad en el humedal Ciénaga de Zapata y su adaptación al cambio climático*. Taller Zapata. 12-14 Diciembre.

**Johnsen, K. H.; J. R. Butnor; J. S. Kush; C. D. Nelson; R. C. Schmidtling** (2008). *Increasing the resiliency and carbon sequestration potential of gulf coast forests in the United States*. **In:** International conference on adaptation of forests and forest management to changing climate with emphasis on forest health: A review of science, policies and practices. Sweden, 25-28 August. p. 143.

**Kanninen, M.** (2000). *Secuestro de carbono en bosques, su papel en el ciclo global*. (CD) CATIE, Turrialba, Costa Rica. 9 p.

**Karnosky, DF; M. Tallis; J. Darbah; G. Taylor** (2007). *Direct effects of elevated carbon dioxide on forest tree productivity*. . **In:** Forestry and climate change. CAB International. ISBN-139781845932947. Edit por: PH Freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/London. p.136-141.

**Keeman, T.; S. Sabaté; C. Gracia** (2008). *Forest eco-physiological models and carbon sequestration*. **In:** Managing Forest Ecosystems. Edit: F. Bravo; V. Le May; R. Jandl; K. von Gadow. Springer. ISBN 978-1-4020-8342. p.83-102.

**Kimble, J.** (2006). Advances in models to measure soil carbon: Can soil carbon really be measured? **In:** Carbon sequestration in soils of Latin America. Food Products Press. N. York, London, Oxford. p. 477-490.

**Lal, R.** (2006). *Soil carbon sequestration in Latin America*. **In:** Carbon sequestration in soils of Latin America. Food Products Press. N. York, London, Oxford. p. 49-64

**Lara, K.** (2003). *Advierte ecologista nicaragüense sobre daños al planeta*. Periódico ORBE, Semanario Internacional. Edit: Prensa Latina. 3-9 Mayo. p. 11.

**Le May, V.; W. A. Kurz** (2008). *Estimating carbon stocks and stock changes in forests: Linking models and data across scales*. **In:** Managing Forest Ecosystems. Edit: F. Bravo; V. Le May; R. Jandl; K. von Gadow. Springer. ISBN 978-1-4020-8342. p.63-81.



- Llimona, J.** (1967). *Introducción a la fisiología vegetal*. Edit: Omega, S. A. Barcelona, España. 328p.
- Loguercio, G. A.** (2000). *Cambio climático: El rol de los bosques como sumideros de carbono*. Forestal Net. Magazine electrónico N° 5, agosto. <http://www.ciefap.org.ar>
- Lopera, A; Gutiérrez, M.** (2000). *Secuestro de carbono en bosques*. [www.fao.org/Docrep/Y4435S/y4435s09.htm](http://www.fao.org/Docrep/Y4435S/y4435s09.htm)
- Maginnis, S y W. Jackson.** (2002). *Restauración del paisaje forestal*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol. 10, N° 4. Yokohama, Japón. p. 9.
- Manso,** (2001). *Primera Comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. República de Cuba. Versión PDF
- Marland, G.; B. Schlamadinger.** (1998) *¿Bosques para la captación y retención del carbono o para la sustitución de los combustibles fósiles? Un análisis de sensibilidad*. Rev. Electrónica Bosques y cambio climático y la función de los bosques como sumideros de carbono. N° 4. p. 131.
- Mattews; R.W; K. Robertson; G. Marland; E. Marland** (2007). *Carbon in wood products and products substitution*. . In: Forestry and climate change. CAB International. ISBN-139781845932947. Edit por: PH Freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/London. p.91-103.
- Méndez, A. L.; Castro, L. R.; R. Pérez; C. M. López; B. Lapinel; J. M. Pajón; María Celeiro; F. Ortega; M. Hernández.** (2008). *Curso cambio climático*. Suplemento Especial, Primera Parte. Edit: Academia. ISBN: 978-959-270-129-8. La Habana. 16p.
- Mercadet, Alicia; A. Álvarez** (2006). *Informe Final de subproyecto: Propuesta metodológica para establecer la línea base de carbono en las empresas forestales cubanas*. C. Habana, Cuba, Instituto de Investigaciones Forestales. 26p
- MINAG** (2007). *Estrategia Ambiental Nacional 2005-2007. Capítulo III: Caracterización y diagnóstico*. Versión electrónica. Diciembre, C. Habana.
- MINAG** (2000). Documento de proyecto. *Apoyo a la conservación integral de los recursos naturales de la Ciénaga de Zapata*. GCP/CUB/011/NET. Julio. La Habana. P.13.

- Moreno, F.H.; S.F. Oberbauer** (2008). *Dynamics of soil carbon in primary and secondary tropical forests in Colombia*. In: Managing Forest Ecosystems. Edit: F. Bravo; V. Le May; R. Jandl; K. von Gadow. Springer. ISBN 978-1-4020-8342. p.283-296.
- Moya, B.** (2008). Comunicación personal.
- Moya, B** (2007). Comunicación personal.
- Moya, B.; Ana Hernández; H. Borrell.** (2003). *Los humedales ante el cambio climático*. Conferencia impartida en el Simposio Internacional Humedales 2003. Ciénaga de Zapata. Matanzas. Cuba.
- Moya, B.; A. Alfonso; M. Gutiérrez; N. Gómez; Mabel García.** (2003a). *Análisis preliminar del Cambio Climático en la Ciénaga de Zapata*. Conferencia impartida en el Simposio Internacional Humedales 2003. Ciénaga de Zapata. Matanzas. Cuba.
- Moya, B.** (2002). *Climate change in Varadero one of the most important touristic places in Caribbean sea*. IHDP Workshop. Born, Alemania. p.3-7.
- Muller, Eva.** (2002). *Los bosques secundarios salen a la luz*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol. 10, Nº 4. Yokohama, Japón. p. 16-17.
- Nabuurs, G. J.; G. M. J. Mohren** (1993). En: M. Kanninen, 2001. *Bosques tropicales y ciclo de carbono*. CATIE. Curso Internacional Proyecto de cambio climático en los sectores forestal y energético. Oportunidades de Desarrollo para los países latinoamericanos.
- Nazip, M.** (2008). *Carbon sequestration potencial of mangroves in Southeast Asia*. In: Managing Forest Ecosystems. Edit: F. Bravo; V. Le May; R. Jandl; K. von Gadow. Springer. ISBN 978-1-4020-8342. p.297-315.
- Núñez, A.** (2003). *Potencialidades de D. cinerea para la industria artesanal*. Comunicación personal. IIF.
- OFI-CATIE.** (2004). *Árboles de Centroamérica*. Breadfruit Software®Components. p. 471-472.
- OIMT.** (2003). *Efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas forestales*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol.12, Nº 1. OIMT, Yokohama, Japón. p.7.
- OIMT.** (2002). *Expertos dan la alarma sobre los incendios de los bosques tropicales*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol. 10, Nº 2. Yokohama, Japón. p. 21.

- OIMT.** (2002a). *Cuando se causa daño*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol. 10, N° 4. Yokohama, Japón. p. 3.
- OIMT.** (2001). *Las plantaciones avanzan*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol. 9, N° 3. Yokohama, Japón. p. 1-2.
- OIMT.** (1994). *Efectos de los cambios climáticos en los ecosistemas forestales*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 2, N° 2, abril-junio. Yokohama, Japón. p. 7.
- Omar-S; K. Godard; Ingham-un; H. Hussain; V. Wongpanich; J. Pezzuto** (2003). *Antimalarial activities of gedunin and 7-methoxygedunin and synergistic activity with dillapiol*. Rev. Annals-of-Applied-Biology [impresión]; 143 (2): 135-141.
- Opuni-Frimpong, E.** (2002). *Informe sobre una beca*. Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol.10, N° 3. OIMT, Yokohama, Japón. p. 23.
- Ortiz, Osiris; Alicia Mercadet; A. Álvarez; María del C Berrios** (2006). *La economía ecológica vista en la retención y secuestro de carbono como una vía para mitigar el cambio climático en el sector forestal cubano: Un estudio de caso en EFI Matanzas*. Memorias del IV Congreso Forestal de Cuba. La Habana, Palacio de las Convenciones, 17-20 abril.
- Patanisamy, K.; B. N. Gupta** (2004). *Asimilación fotosintética de CO<sub>2</sub> en especies arbóreas caducifolias y en Eucalyptus cladocalyx en relación con los factores ambientales y un nivel elevado de CO<sub>2</sub>*. Resúmenes de las memorias voluntarias. **EN:** Bosques y cambio climático y la función de los bosques como sumideros de carbono. N° 4.
- Peláez, O.** (2003). *Noticien*. Periódico Granma. Año 39, N° 159. C. Habana. 4 de Julio. p. 8.
- Pérez, Dora.** (2003). *La ayuda ambiental no juega con la pobreza*. Periódico Juventud Rebelde. C. Habana; 4 de Jun. p. 8.
- Pérez, Sonia.** (2007). *El mar, huésped indeseado*. Suplemento Científico Técnico de Juventud Rebelde. Periódico Juventud Rebelde. C. Habana; 11 de Marzo.
- PNUD** (2007). *Informe sobre desarrollo humano 2007/2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido*. Edit: Green Ink Inc. ISBN: 978-84-8476-322-2. Nueva Cork, EEUU. 386p.

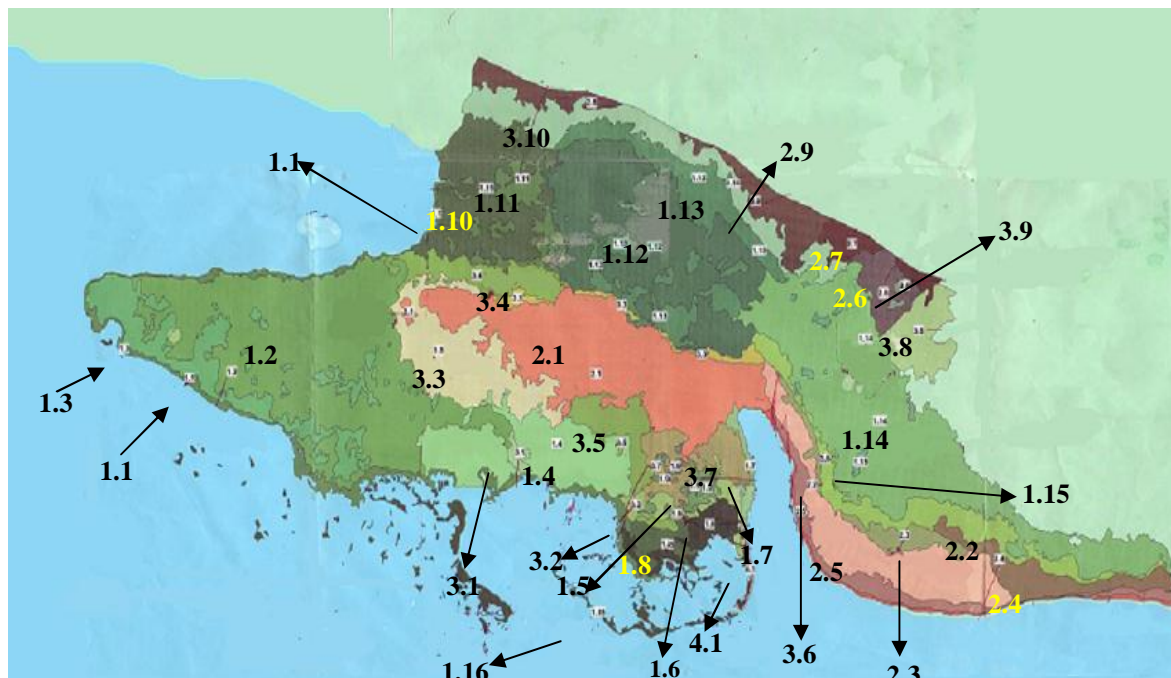
- Portillo, F.** (1965). *Principios de la fisiología vegetal*. Edit: Instituto del Libro. Cuarta edición. La Habana, Cuba.
- Pradas, T.** (2008). *Espérame en Siberia, vida mía*. Rev. Bohemia. Año 100, Nº 5. ISSN-0864-0777. La Habana, Cuba. p.24-26.
- Prensa Latina.** (2003). Suplemento Científico-Técnico. Periódico Juventud Rebelde. C. Habana; 26 de Oct. p.1.
- PROARCA.** 1998. *Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) en los bosques de la República de El Salvador*. (CD). Sept. p.6.
- Reichstein, M.** (2007). *Impacts of climate change on forest soil carbon: principles, factors, models, uncertainties*. Forestry and climate change. CAB international. ISBN-139781845932947. Edit por: PH freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/LONDON. P.127-135.
- Robledo, C.** (2004). *Las negociaciones sobre el cambio climático aportan pocos cambios...?* Revista Actualidad Forestal Tropical. Vol.12, Nº 1. OIMT, Yokohama, Japón. p.18-19.
- Rodríguez, J. M.** (2005). *Estrategia de mitigación del cambio climático para la Empresa Forestal Integral La Palma*. Tesis en opción al Título Académico de Master en Ciencias Forestales. Pinar del Río, Cuba. 59 p.
- Rodríguez, J y P. Lawrence.** (1997). *Potencial de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de Nicaragua*. Hacia una Nicaragua competitiva; CEN 722. Programa Nacional de Competitividad Nicaragua. Agosto. p.17.  
[www.agenda21.org.ni](http://www.agenda21.org.ni)
- Rollinson, TJD** (2007). *Forest and climate change: conclusions and the way forward*. . In: Forestry and climate change. CAB International. ISBN-139781845932947. Edit por: PH Freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/London. p.233-240.
- Salomón, R.** (2003). *En peligro las nieves del Kilimanjaro*, **EN:** Variedades; Periódico ORBE, Semanario Internacional. Edit: Prensa Latina. 30 Agosto- 6 Sept. p. 8.
- Sánchez-Díaz, M; JJ, Irigoyen; Nuria, Gómez; A. Pardo; J. Azcón-Bieto.** (2003). *El cambio climático global. Efecto previsible del CO<sub>2</sub> sobre los vegetales*. La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis. Capítulo 37; España, p. 1116.

- Sarre, A.** (2000). *El papel de las vedas de extracción: Informe*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 8, Nº 3. OIMT, Yokohama, Japón. p. 24.
- Sarre, A.** (1994). *El debate sobre el calentamiento de la Tierra*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 2, Nº 2, abril-junio. OIMT, Yokohama, Japón. p. 2-3.
- Sarre, A.** (1994 a). *Los bosques tropicales como sumideros de carbono*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 2, Nº 2, abril-junio. OIMT, Yokohama, Japón. p. 6.
- Schellhuber, J.** (2003). *Vinculan ola de calor con incremento del cambio climático*, **En:** Ciencia y Técnica; Periódico ORBE; Semanario Internacional. Edit: Prensa Latina. 9-15 Agosto. p. 7.
- Shaver, G.R., J.M. Melillo** (1984). *Nutrient budgets of marsh plants: efficiency concepts and relation to availability*. Ecology 65:1491-1510.
- Schepers, JS; JM Lynch** (2007). *Soils and waste management a challenge to climate change*. In: Forestry and climate change. CAB international. ISBN-139781845932947. Edit por: PH freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/LONDON. P.123.
- Schlesinger, W.H** (2007). *Biogeoquímica. Un análisis del cambio global*. Ariel Ciencia. p.347-365.
- Segura, Milena** (2001). *Estimación de carbono en Ecosistemas Tropicales: Los aportes de modelos de biomasa*. Curso Internacional Proyecto de Cambio Climático en los Sectores Forestal y Energético: Oportunidades de Desarrollo para países latinoamericanos. CATIE-PNUD, Costa Rica, 24-28 septiembre.
- Semenov, M. A.; J. R. Porter.** (1995). *Non-linearity in Climate Change Impact Assessments*. Journal of Biogeography. Vol. 22, Nº 4/5. Terrestrial Ecosystem Interactions with Global Change. Vol.2, (jul-sept). Edit: Blackwell Publishing. p.597-600. <http://www.jstor.org/pss/2845960>.
- Sierra, C. A.** (2003). *El papel del carbono en el flujo de energía de los ecosistemas boscosos*. Rev. *Cambium*. Boletín Informativo sobre el Cambio Global del centro de Investigación Carbono y Bosques. Vol.1, Nº 7. Septiembre. p. 2.
- Simula, M y D. Burger.** (2003). *Misión brasileña para lograr la OFS*. Rev. Actualidad Forestal Tropical. Vol.11, Nº 1, OIMT; Yokohama, Japón. p. 5.

- Solomon, AM; PH Freer-Smith** (2007). *Forest responses to global change in North America: Interacting forces define a research agenda*. . In: Forestry and climate change. CAB International. ISBN-139781845932947. Edit por: PH Freer, MSJ Broadmeadow, JM Lynch. UK/USA/London. p.151-159.
- Sorensen, K. W.** (1995). *Los cambios climáticos y la biodiversidad*. Rev. Actualidad Forestal Tropical. Vol.2, Nº 2, OIMT; Yokohama, Japón. p. 4-5.
- Sorensen, K. W.** (1994). *Los cambios climáticos y la biodiversidad*. Rev. Actualidad Forestal Tropical, Vol. 2, Nº 2, abril-junio. OIMT, Yokohama, Japón. p. 4-11
- Tamayo, R.** (2003). *Alerta de incendios forestales*. Periódico Juventud Rebelde. C. Habana. 12 Dic. p. 8.
- Taladrid, R.** (2008). *Programa Pasaje a lo Desconocido*. Cubavisión. La Habana. Marzo, domingo. 8:30 pm
- UNAM** (2006). *Secuestro de carbono en bosques: El papel del suelo*. Instituto de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Facultad de Ciencias exactas, Químicas y naturales. Argentina. html Document.
- Vázquez, M.** (2005). *Cambio climático y alimentación: una difícil relación*. **En:** Ciencia y Técnica. Periódico ORBE, Semanario Internacional, Edit: Prensa Latina. 4-10 Jun. p.12.
- Villalba, María Josefa.** (1992). Conferencia impartida en Universidad de Pinar del Río, Facultad Forestal. Sept.
- World Climate Report** (2004). *Non-linear climate change*. Agosto. 7p.
- Xin-Quan, G. Z. Wen** (2005). *Non linear evolution characteristics of the climate system on the interdecadal- centennial timescales*. IOP electronic journals. Chinese Physics 14. p.2370-2378. <http://www.iop.org/EJ/abstract/1009-1963/14/11/039>.
- Zotz, G; Coger, Martina; K. Winter** (1995). *High rates of photosynthesis in the tropical pioneer tree, Ficus insipida Willd.* Rev. Flora Nº 190, Edit: Gustav Fischer Verlag Jena. p.265-272.
- Zotz, G.; K. Winter** (1993). *Photosynthesis of a tropical Canopo tree, Ceiba pentandra in a low land forest in Panama*. Rev Tree Physiology 14. Heron Publishing-Victoria, Canadá. p. 1291-1301.



## ANEXOS



Anexo.1. Vegetación del humedal Ciénaga de Zapata.

1.1 Mangle rojo+ mangle prieto + yana	3.4 Herbazal de cortadera+ palmas+bosque de ciénaga.
1.2 Herbazal de cortadera + yana + patabán	3.5 Herbazal de junco fino+ yana+ júcaro
1.3 Yana + matorral de ciénaga	1.9 Depresión herbazal de junco fino+ yana
1.4 Yana+ matorral de ciénaga + herbazal de junco fino	1.10 Manglar+ herbazal de cortadera+ bosque de ciénaga
3.1 Bosque Scf sobre mal drenaje	1.11 Partes más altas, vegetación idem a la anterior.
1.5 Herbazal de junco fino+ herbazal secundario	1.12 Yana+ herbazal de cortadera
3.2 Yana + júcaro	1.13 Partes más altas: herbazal de ciénaga+ bosque. ciénaga
3.8 Arroz	1.14 Superficie muy baja: vegetación ídem anterior
1.7 Mangle prieto + patabán	3.6 Bosque de ciénaga+ júcaro+ yanal aislado
4.1 Vegetación de costa rocosa	2.1 Bosque de ciénaga+ júcaro+ Scf
2.2 Bosque Scf sobre caliza	2.3 Bosque Scf + vegetación secundaria
2.4 Bosque Scf	2.5 Bosque Scf + matorral xeromorfo
4.2 Vegetación de costa arenosa	2.6 Restos de bosque de ciénaga+ vegetación secundaria
3.3 Bosque de ciénaga + yana	3.7 Bosque ciénaga+ júcaro+ Scf
3.10 Bosque ciénaga+ júcaros+ vegetac secundaria	2.7 Cultivos+ vegetación secundaria
2.8 Vegetación secundaria	3.7 Bosque ciénaga+ júcaro+ Scf
2.9 Idem sobre suelos medio profundos	2.7 Cultivos+ vegetación secundaria
1.16 Manglar+ matorral xeromorfo (cayos)	1.15 Yana+ bosque ciénaga+ júcaro

Anexo 2. Evidencia gráfica de la penetración del mar en el área de estudio.



1

2

1. Muestra de una caza-mata construida a 45 m de la costa en 1961 cuando la invasión a Playa Girón.
2. Muestra de un fuste (partido) de casuarina plantado en la primera mitad de la década del 70 del siglo XX.



Anexo 3. Estimado de la biomasa presente en las plantaciones adultas según dinámica 2006. (I Metodología).

Especie	Especie	Área (ha)	Vol./ha	Vol. (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	BM f (Mg)	BMf (Mg/ha)	BMt (Mg)	BMt (Mg/ha)
Rhizophora mangle	mangle rojo	2619,8	35	91693.00	792	72620.86	37.72	126320.29	48.23
Coccoloba uvifera	uva caleta	19,6	45	882.00	700	617.40	31.50	1074.28	54.81
Caesalpinea violacea	yarúa	192,3	60	11538.00	880	10153.44	52.80	17666.99	91.87
Diospirus crassinervis	ébano	1,2	10	12.00	1150	13.80	11.50	24.01	20.01
Swietenia mahagoni	caoba antillana	25,4	95	2413.00	550	1327.15	52.25	2309.24	90.92
Calophyllum calaba	ocuje	177,1	196	34711.60	550	19091.38	107.80	33219.00	187.57
Sabal spp	palma cana	189,6							
Conocarpus erecta	yana	10,6	46	487.60	1100	536.36	50.60	933.27	88.04
<i>Talipariti elatum</i>	majagua	38,9	70	2723.00	439	1195.40	30.73	2079.99	53.47
Eucalyptus spp	eucalipto	9,3	116	1078.80	640	690.43	74.24	1201.35	129.18
Melia azederach	paraíso	0,9	20	18.00	480	8.64	9.60	15.03	16.70
Sw mahagoni x macrophylla	caoba híbrida	35,8	37	1324.60	740	980.20	27.38	1705.55	47.64
Khaya spp	Khaya	734,5	98,5	72348.25	516	37331.70	50.83	64957.15	88.44
Albizzia procera	algarrobo	22,6	131	2960.60	600	1776.36	78.60	3090.87	136.76
Melaleuca leucodendrum	cayeput	12,8	52	665.60	680	452.61	35.36	787.54	61.53
Gmelina arborea	gmelina	1,4	18	25.20	367	9.25	6.61	16.09	11.49
Tectona grandis	teca	0,6	30	18.00	530	9.54	15.90	16.60	27.67
Cedrela odorata	cedro	1	43	43.00	480	20.64	20.64	35.91	35.91
Casuarina equisetifolia	casuarina	173,4	214	37022.00	680	25233.17	145.52	43905.71	253.20
TOTAL		<b>4266,8</b>		<b>260049,85</b>		<b>172068.32</b>		<b>299398.88</b>	

Anexo.3.A. Estimado de la biomasa presente en las plantaciones adultas según dinámica 2006. (II Metodología).

Especie	Área (ha)	Vol./ha	Vol. (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	BMf (Mg)	BMf (Mg/ha)	Bma (Mg)	BMa (Mg/ha)	BMr (Mg)	BMtotal (Mg)	BMt (Mg/ha)	Necromasa (Mg)
mangle rojo	2619,8	35	91693,00	792	72620,86	37.72	126360,29	48.23	37908,09	164268,38	62.70	47680.36
uva caleta	19,6	45	882,00	700	617,40	31.50	1074,28	54.81	322,28	1396,56	71.25	356.72
yarúa	192,3	60	11538,00	880	10153,44	52.80	17666,99	91.87	5300,10	22967,08	119.43	3499.86
ébano	1,2	10	12,00	1150	13,80	11.50	36,71	30.59	11,01	47,72	39.77	21.84
caoba antillana	25,4	95	2413,00	550	1327,15	52.25	2309,24	90.92	692,77	3002,01	118.19	462.28
ocuje	177,1	196	34711,60	550	19091,38	107.80	33219,00	187.57	9965,70	43184,70	243.84	3223.22
palma cana	189,6											3450.72
yana	10,6	46	487,60	1100	536,36	50.60	933,27	88.04	279,88	1213,25	114.46	192.92
majagua	38,9	70	2723,00	439	1195,40	30.73	2079,99	53.47	624,00	2703,99	69.51	707.98
eucalipto	9,3	116	1078,80	640	690,43	74.24	1201,35	129.18	360,41	1561,76	167.93	169.26
paraíso	0,9	20	18,00	480	8,64	9.60	25,92	28.80	7,78	33,70	37.44	16.38
caoba híbrida	35,8	37	1324,60	740	980,20	27.38	1705,55	47.64	511,67	2217,22	61.93	651.56
Khaya	734,5	98,5	72348,25	516	37331,70	50.83	64957,15	88.44	19487,15	84444,30	114.97	13367.90
Albizzia procera	22,6	131	2960,60	600	1776,36	78.60	3090,87	136.76	927,26	4018,13	177.79	411.32
cayeput	12,8	52	665,60	680	452,61	35.36	787,54	61.53	236,26	1023,80	79.98	232.96
gmelina	1,4	18	25,20	367	9,25	6.61	27,75	19.82	8,32	36,07	25.76	25.48
teca	0,6	30	18,00	530	9,54	15.90	28,62	47.70	8,59	37,21	62.01	10.92
cedro	1	43	43,00	480	20,64	20.64	61,92	61.92	18,58	80,50	80.50	18.2
casuarina	173,4	214	37022,00	680	25233,17	145.52	43905,71	253.20	13171,71	57077,43	329.17	3155.88
<b>TOTAL</b>	<b>4266,8</b>		<b>260049,85</b>		<b>172068.33</b>		<b>299472.14</b>		<b>89841.64</b>	<b>389313.78</b>		<b>77655.76</b>

Anexo 3. B. Cálculo del carbono retenido en las plantaciones adultas según dinámica del 2006. (I Metodología).

Especie	Área (ha)	vol/ha	vol (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	FCCm	Cr biomasa (Mg)	Crbiom (Mg/ha)	Cr suelo (Mg)	Cr total (Mg)	Cr total (Mg/ha)
mangle rojo	2619,8	35	91693.00	792	0,4500	56862.13	21.70	322235.40	379097.53	
uva caleta	19,6	45	882.00	700	0,4500	483.42	24.66	2410.80	2894.22	
yarúa	192,3	60	11538.00	880	0,4500	7950.14	41.34	23652.90	31603.04	
ébano	1,2	10	12.00	1150	0,4500	10.81	9.00	147.60	158.41	
caoba antillana	25,4	95	2413.00	550	0,4500	1039.16	40.91	3124.20	4163.36	
ocuje	177,1	196	34711.60	550	0,4500	14948.55	84.41	21783.30	36731.85	
palma cana	189,6							23320.80	23320.80	
yana	10,6	46	487.60	1100	0,4500	419.97	39.62	1303.80	1723.77	
majagua	38,9	70	2723.00	439	0,4500	936.00	24.06	4784.70	5720.70	
eucalipto	9,3	116	1078.80	640	0,4500	540.61	58.13	1143.90	1684.51	
paraíso	0,9	20	18.00	480	0,4500	6.77	7.52	110.70	117.47	
caoba híbrida	35,8	37	1324.60	740	0,4500	767.50	21.44	4403.40	5170.90	
Khaya	734,5	98,5	72348.25	516	0,4500	29230.72	39.80	90343.50	119574.22	
Albizzia procera	22,6	131	2960.60	600	0,4500	1390.89	61.54	2779.80	4170.69	
cayeput	12,8	52	665.60	680	0,4500	354.39	27.69	1574.40	1928.79	
gmelina	1,4	18	25.20	367	0,4500	7.24	5.17	172.20	179.44	
teca	0,6	30	18.00	530	0,4500	7.47	12.45	73.80	81.27	
cedro	1.0	43	43.00	480	0,4500	16.16	16.16	123.00	139.16	
casuarina	173,4	214	37022.00	680	0,4500	19757.57	113.94	21328.20	41085.77	
<b>TOTAL</b>	<b>4266,8</b>		<b>260049,85</b>			<b>134729.49</b>		<b>524816.40</b>	<b>659545.89</b>	<b>154.58</b>

Anexo 3. C. Cálculo del carbono retenido en las plantaciones adultas según dinámica del 2006. (II Metodología).

Especie	Área (ha)	vol/ha	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	FCCm	Cr biom aérea (Mg)	Cr biomasa (Mg)	Crbiom aérea (Mg/ha)	Crbiom (Mg/ha)	Cr suelo (Mg)	Cr total (Mg)	Cr total (Mg/ha)	Cr necromasa (Mg/ha)
mangle rojo	2619,8	35	792	0,4688	59237,70	77009,01	22.61	29,39	322235,4	399273,81		7266783.34
uva caleta	19,6	45	700	0,4466	479,77	623,70	24.48	31,82	2410,8	3066,32		55807.11
yarúa	192,3	60	880	0,501	8851,16	11506,51	46.03	59,84	23652,9	35219,24		640990.24
ébano	1,2	10	1150	0,4688	17,21	22,37	14.34	18,64	147,6	188,61		3432.78
caoba antillana	25,4	95	550	0,4799	1108,20	1440,67	43.63	56,72	3124,2	4621,59		84112.85
ocuje	177,1	196	550	0,4875	16194,26	21052,54	91.44	118,87	21783,3	42954,72		781775.83
palma cana	189,6								23320,8	23320,80		424438.56
yana	10,6	46	1100	0,4688	437,52	568,77	41.28	53,66	1303,8	1926,23		35057.34
majagua	38,9	70	439	0,466	969,28	1260,06	24.92	32,39	4784,7	6077,15		110604.14
eucalipto	9,3	116	640	0,4875	585,66	761,36	62.97	81,87	1143,9	1987,12		36165.64
paraíso	0,9	20	480	0,4688	12,15	15,80	13.50	17,55	110,7	144,05		2621.68
caoba híbrida	35,8	37	740	0,4688	799,56	1039,43	22.33	29,03	4403,4	5471,87		99588.00
Khaya	734,5	98,5	516	0,4688	30451,91	39587,49	41.46	53,90	90343,5	129984,88		2365724.90
Albizzia procera	22,6	131	600	0,4717	1457,96	1895,35	64.51	83,87	2779,8	4759,02		86614.08
cayeput	12,8	52	680	0,4757	374,63	487,02	29.27	38,05	1574,4	2099,47		38210.35
gmelina	1,4	18	367	0,4688	13,01	16,91	9.29	12,08	172,2	201,19		3661.60
teca	0,6	30	530	0,4849	13,88	18,04	23.13	30,07	73,8	121,91		2218.76
cedro	1	43	480	0,4743	29,37	38,18	29.37	38,18	123	199,36		3628.32
casuarina	173,4	214	680	0,4715	20701,54	26912,01	119.39	155,20	21328,2	48395,41		880796.43
<b>TOTAL</b>	<b>4266,8</b>				<b>141734,78</b>	<b>184255,21</b>			<b>524816,4</b>	<b>710012,74</b>	<b>166,40</b>	

Anexo.4. Estimado de la biomasa en plantaciones jóvenes atendiendo a dinámica del 2006. (I metodología).

Especie	Especie	Área	Volumen/ha	Vol (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	BMf (Mg)	BMf (Mg/ha)	BM total (Mg)	BM total (Mg/ha)
Rhizophora mangle	mangle rojo	489,5	1,1	538,45	792	426,45	0.87	742.03	1.52
Caesalpinea violacea	yarúa	44,5	3,6	160,2	880	140,98	3.17	245.30	5.51
Coccoloba uvifera	uva caleta	1	1,5	1,5	700	1,05	1.05	1.83	1.83
Conocarpus erecta	yana	10	1,8	18	1100	19,80	1.98	34.45	3.45
Swietenia mahagoni	caoba antillana	83,4	7,5	625,5	550	344,03	4.12	598.60	7.18
Colubrina arborescens	bijáguara	14,1	5,9	83,19	1000	83,19	5.90	144.75	10.27
Sabal spp	palma cana	298,2							
Calophyllum calaba	ocuje	308,1	5,35	1648,34	550	906,58	2.94	1577.46	5.12
Tectona grandis	teca	78,3	4	313,2	530	166,00	2.12	288.83	3.69
Casuarina equisetifolia	casuarina	272	20	5440	680	3699,20	13.60	6436.61	23.66
Khaya spp	khaya	383,5	9	3451,5	516	1780,97	4.64	3098.89	8.08
Albizia spp		167	4,5	751,5	600	450,90	2.70	784.57	4.70
Swietenia macrophylla	caoba honduras	56,2	3,7	207,94	430	89,41	1.59	155.58	2.77
Sw. Mahagoni x macrophylla	caoba híbrida	37,7	4	150,8	740	111,59	2.96	194.17	5.15
Gmelina arborea	gmelina	0,5	1,39	0,695	367	0,26	0.51	0.44	0.89
Guaiacum officinale	guayacán	0,1	0,05	0,005	1330	0,01	0.07	0.01	0.12
<i>Talipariti elatum</i>	majagua	0,2	3	0,6	439	0,26	1.32	0.46	2.29
Lysiloma latisiliquum	sopilillo	52,5	4	210	669	140,49	2.68	244.45	4.66
<b>TOTAL</b>		<b>2296,8</b>		<b>13391,42</b>		<b>8361,17</b>		<b>14548.43</b>	

Anexo 4.A. Estimado de la biomasa en plantaciones jóvenes atendiendo a dinámica del 2006. (II metodología).

Especie	Área	Volumen/ha	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	BMf (t)	BMf (t/ha)	BM aérea (Mg)	BM aérea (Mg/ha)	BM raíz (Mg)	BM total (Mg)	BM total (Mg/ha)	Necromasa (Mg)
mangle rojo	489,5	1,1	792	426,45	0.87	742.03	1.52	222.61	964.64	1.97	8908.90
yarúa	44,5	3,6	880	140,98	3.17	286.46	6.44	85.94	372.40	8.37	809.90
uva caleta	1	1,5	700	1,05	1.05	3.15	3.15	0.95	4.10	4.10	18.20
yana	10	1,8	1100	19,80	1.98	59.40	5.94	17.82	77.22	7.72	182.00
caoba antillana	83,4	7,5	550	344,03	4.12	598.60	7.18	179.58	778.18	9.33	1517.88
bijáguara	14,1	5,9	1000	83,19	5.90	220.75	15.66	66.23	286.98	20.35	256.62
palma cana	298,2										5427.24
ocuje	308,1	5,35	550	906,58	2.94	1577.46	5.12	473.24	2050.69	6.66	5607.42
teca	78,3	4	530	166,00	2.12	310.54	3.97	93.16	403.70	5.16	1425.06
casuarina	272	20	680	3699,20	13.60	6436.61	23.66	1930.98	8367.59	30.76	4950.40
khaya	383,5	9	516	1780,97	4.64	3098.89	8.08	929.67	4028.56	10.50	6979.70
Albizzia spp	167	4,5	600	450,90	2.70	784.57	4.70	235.37	1019.94	6.11	3039.40
caoba honduras	56,2	3,7	430	89,41	1.59	228.76	4.07	68.63	297.39	5.29	1022.84
caoba híbrida	37,7	4	740	111,59	2.96	255.22	6.77	76.57	331.79	8.80	686.14
gmelina	0,5	1,39	367	0,26	0.51	0.77	1.53	0.23	0.89	1.99	9.1
guayacán	0,1	0,05	1330	0,01	0.07	0.02	0.20	0.01	0.03	0.26	1.82
majagua	0,2	3	439	0,26	1.32	0.79	3.95	0.24	1.03	5.14	3.64
soplillo	52,5	4	669	140,49	2.68	285.97	5.45	85.79	371.76	7.08	955.50
<b>TOTAL</b>	<b>2296,8</b>			<b>8361,17</b>		<b>14889.99</b>		<b>4467.02</b>	<b>19356.99</b>		<b>41801.76</b>

Anexo. 4. B. Cálculo del carbono retenido en las plantaciones jóvenes atendiendo a dinámica del 2006 (I Metodología).

Especie	Área	Volumen/ha	Vol (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	FCC m	Cr biomasa (Mg)	Crbioma (Mg/ha)	Cr suelo	Cr total	Cr total/ha
mangle rojo	489,5	1,1	538,45	792	0,4500	333.91	0.68	60208.50	60542.41	
yarúa	44,5	3,6	160,2	880	0,4500	110.38	2.48	5473.50	5583.88	
uva caleta	1	1,5	1,5	700	0,4500	0.82	0.82	123.00	123.82	
yana	10	1,8	18	1100	0,4500	15.50	1.55	1230.00	1245.50	
caoba antillana	83,4	7,5	625,5	550	0,4500	269.37	3.23	10258.20	10527.57	
bijáguara	14,1	5,9	83,19	1000	0,4500	65.14	4.62	1734.30	1799.44	
palma cana	298,2							36678.60	36678.60	
ocuje	308,1	5,35	1648,34	550	0,4500	709.86	2.30	37896.30	38606.16	
teca	78,3	4	313,2	530	0,4500	129.97	1.66	9630.90	9760.87	
casuarina	272	20	5440	680	0,4500	2896.47	10.65	33456.00	36352.47	
khaya	383,5	9	3451,5	516	0,4500	1394.50	3.64	47170.50	48565.00	
Albizzia spp	167	4,5	751,5	600	0,4500	353.05	2.11	20541.00	20894.05	
caoba honduras	56,2	3,7	207,94	430	0,4500	70.01	1.25	6912.60	6982.61	
caoba híbrida	37,7	4	150,8	740	0,4500	87.38	2.32	4637.10	4724.48	
gmelina	0,5	1,39	0,695	367	0,4500	0.20	0.40	61.50	61.70	
guayacán	0,1	0,05	0,005	1330	0,4500	0.01	0.05	12.30	12.31	
majagua	0,2	3	0,6	439	0,4500	0.21	1.03	24.60	24.81	
soplillo	52,5	4	210	669	0,4500	110.00	2.10	6457.50	6567.50	
<b>TOTAL</b>	<b>2296,8</b>	<b>76,39</b>	<b>13391,415</b>			<b>6546.80</b>		<b>282506.40</b>	<b>289053.20</b>	<b>125.85</b>

Anexo. 4. C. Cálculo del carbono retenido en las plantaciones jóvenes atendiendo a dinámica del 2006 (II Metodología).

Especie	Área	Volumen/ha	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	FCC m	Cr bioma aérea (Mg)	Cr bioma aérea (Mg/ha)	Cr biomasa (Mg)	Crbioma (Mg/ha)	Cr suelo (Mg)	Cr total (Mg)	Cr total (Mg/ha)	CR necromasa (Mg/ha)
mangle rojo	489,5	1,1	792	0,4688	347.54	0.71	452.22	0.92	60208,5	60661.64		1104041.94
yarúa	44,5	3,6	880	0,501	143.74	3.23	186.57	4.19	5473,5	5664.26		13089.62
uva caleta	1	1,5	700	0,4466	1.41	1.41	1.83	1.83	123	126.66		2305.17
yana	10	1,8	1100	0,4688	27.80	2.78	36.20	3.62	1230	1269.82		23110.74
caoba antillana	83,4	7,5	550	0,4799	286.90	3.44	373.45	4.48	10258,2	10636.13		193577.54
bijáguara	14,1	5,9	1000	0,4639	102.37	7.26	133.13	9.44	1734,3	1876.87		34159.04
palma cana	298,2								36678,6	36678.60		667550.52
ocuje	308,1	5,35	550	0,4875	770.25	2.50	999.71	3.24	37896,3	38899.26		707966.49
teca	78,3	4	530	0,4849	150.34	1.92	195.75	2.50	9630,9	9829.15		178890.61
casuarina	272	20	680	0,4715	3035.52	11.16	3945.32	14.50	33456	37415.82		680967.99
khaya	383,5	9	516	0,4688	1453.46	3.79	1888.59	4.92	47170,5	49064.02		892965.07
Albizzia spp	167	4,5	600	0,4717	370.74	2.22	481.10	2.88	20541	21024.98		382654.72
caoba honduras	56,2	3,7	430	0,4679	106.78	1.90	139.15	2.48	6912,6	7054.22		128386.89
caoba híbrida	37,7	4	740	0,4688	119.51	3.17	155.54	4.13	4637,1	4796.77		87301.19
gmelina	0,5	1,39	367	0,4698	0.36	0.72	0.47	0.93	61,5	62.90		1144.82
guayacán	0,1	0,05	1330	0,4688	0.009	0.09	0.01	0.12	12,3	12.43		226.29
majagua	0,2	3	439	0,466	0.36	1.84	0.48	2.39	24,6	27.47		499.99
soplillo	52,5	4	669	0,4521	129.15	2.46	168.07	3.20	6457,5	6628.78		120643.73
<b>TOTAL</b>	<b>2296,8</b>				<b>6917.17</b>		<b>9157.61</b>		<b>282506,40</b>	291729.80	<b>127,02</b>	



Anexo 5. Estimado de la biomasa presente en los bosques naturales según dinámica del 2006. (I metodología).

- Por formación boscosa.

Formación boscosa	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	BM f (Mg)	BMf (Mg/ha)	BMt (Mg)	BMt (Mg/ha)
Manglar	118344.30	90.73	107737680.37	12863741.08	108.70	22382909.48	189.13
Scf-md	53195.60	204.53	10880225.33	6092926.18	114.54	10601691.56	199.30
Scf-c	87345.40	132.56	11578211.30	7676354.09	87.89	13356856.12	152.92
Uveral	149.80	52.20	7819.56	5473.69	36,54	9524,22	63,58
TOTAL	259035.10		130203936.56	26638495.04		46350981.38	

- Por categoría de bosque.

Categoría de bosque	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	BM f (Mg)	BMf (Mg/ha)	BMt (Mg)	BMt (Mg/ha)
Manejo especial	40045.60	116.43	4662500.68	5122538.52	127.92	8913217.03	222.58
Recreación	737.80	66.43	49015.50	29661.12	40.20	51610.35	69.95
Protector fauna	51388.30	55.63	2858596.17	3362546.12	65.43	5850830.25	113.86
Protector agua suelo	23522.90	129.17	3038512.08	2594941.38	110.32	4515198.01	191.94
Protector litoral	33617.00	89.66	3014130.36	3173325.01	94.40	5521585.52	164.25
Productor	109723.50	178.46	19581181.80	12355482.90	112.61	21498540.20	195.93
TOTAL							

Anexo 5.A. Estimado de la biomasa presente en los bosques naturales según dinámica del 2006. (II metodología).

- Por formación boscosa.

Formación boscosa	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	BM f (Mg)	BMf (Mg/ha)	BM aérea (Mg)	BM a (Mg/ha)	BMt (Mg)	BMt (Mg/ha)	Necromasa (Mg)
Manglar	118344.30	90.73	107737680.37	12863741.08	108.70	22382909.50	189.13	29097782.30	245.87	2153866.26
Scf-md	53195.60	204.53	10880225.33	6092926.18	114.54	10480090.50	203.69	13624117.66	264.79	936420.94
Scf-c	87345.40	132.56	11578211.30	7676354.09	87.89	13356856.12	152.92	17363913.00	198.80	1589686.28
Uveral	149.80	52.20	7819.56	5473.69	36.54	9524.22	63.58	12381.49	82.65	2726.36
TOTAL	259035.10		130203936.56	26638495.04		46229379.00		60098193.00		4682699.60

- Por categoría de bosque.

Categoría de bosque	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	BM f (Mg)	BMf (Mg/ha)	BM aérea (Mg)	BM a (Mg/ha)	BMt (Mg)	BMt (Mg/ha)	Necromasa (Mg)
Manejo especial	40045.60	116.43	4662500.68	5122538.52	127.92	8913217.03	222.58	11587182.13	289.35	728829.92
Recreación	737.80	66.43	49015.50	29661.12	40.20	51610.35	69.95	67093.45	90.94	13427.96
Protector fauna	51388.30	55.63	2858596.17	3362546.12	65.43	5850830.25	113.86	7606079.33	148.01	935267.06
Protector agua suelo	23522.90	129.17	3038512.08	2594941.38	110.32	4515198.01	191.95	5869757.41	249.53	428116.78
Protector litoral	33617.00	89.66	3014130.36	3173325.01	94.40	551585.52	164.25	7178061.00	149.03	611829.40
Productor	109723.50	178.46	19581181.80	12355482.90	112.61	21498540.20	195.93	27948601.00	254.72	1996967.70
TOTAL										

Anexo 5.B. Cálculo del carbono retenido en los bosques naturales según dinámica del 2006 (I Metodología).

- Por formación boscosa.

Formación boscosa	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	Cr biomasa (Mg)	Cr biomasa (Mg/ha)	Cr suelo (Mg)	Cr total	Cr total (Mg/ha)
Manglar	118344.30	90.73	107737680.37	10072309.27	85.11	76095384.90	86167694.20	728.11
Scf-md	53195.60	204.53	10880225.33	4770761.20	89.68	4042865.60	8813626.80	165.68
Scf-c	87345.40	132.56	11578211.30	6010585.25	68.61	6638250.40	12648835.65	144.81
Uveral	149.80	52.20	7819.56	4285,90	28,61	6291.60	10577,50	70.61
TOTAL	259035.10		130203936.56					

- Por categoría de bosque.

Categoría de bosque	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	Cr biomasa (Mg)	Cr biomasa (Mg/ha)	Cr suelo (Mg)	Cr total	Cr total (Mg/ha)
Manejo especial	40045.60	116.43	4662500.68	4010947.66	100.16	19697162.80	23708110.46	592.03
Recreación	737.80	66.43	49015.50	23224.66	31.48	56072.80	79297.46	107.48
Protector fauna	51388.30	55.63	2858596.17	2632873.61	51.23	1184793.13	533156.91	10.38
Protector agua suelo	23522.90	129.17	3038512.08	2031839.10	86.38	8613513.20	10645352.30	452.55
Protector litoral	33617.00	89.66	3014130.36	2484713.49	73.91	15087472.90	26252202.85	780.92
Productor	109723.50	178.46	19581181.80	9674343.10	88.17	11059338.60	19243249.16	175.38
TOTAL								

Anexo 5.C. Cálculo del carbono retenido en los bosques naturales según dinámica del 2006 (II Metodología).

- Por formación boscosa.

Formación boscosa	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	CR bioma aérea (Mg)	CR bioma aérea (Mg/ha)	Cr biomasa (Mg)	Cr biomasa (Mg/ha)	Cr suelo (Mg)	Cr total	Cr total (Mg/ha)	Cr necromasa (Mg/ha)
Manglar	118344.30	90.73	107737680.37	10493108.00	88.67	13641040.40	115.27		13641040.40	115.27	248266934.00
Scf-md	53195.60	204.53	10880225.33	4913066.43	92.36	6386986.36	120.07	3910329.20	10297315.6	200.14	187411143.00
Scf-c	87345.40	132.56	11578211.30	6261694.15	71.69	8140202.39	93.20	6638250.40	14778452.80	169.20	268967841.00
Uveral	149.80	52.20	7819.56	4464.96	29.81	5804.44	38.75	6291.60	12096,04	80.75	220147.98
TOTAL	259035.10		130203936.56								

- Por categoría de bosque.

Categoría de bosque	Área (ha)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	Vol (m <sup>3</sup> )	CR bioma aérea (Mg)	Cr biomasa aérea (Mg/ha)	Cr biomasa (Mg)	Cr biomasa (Mg/ha)	Cr suelo (Mg)	Cr total	Cr total (Mg/ha)	Cr necromasa (Mg/ha)
Manejo especial	40045.60	116.43	4662500.68	4178516.14	104.34	5432070.98	135.65	811224.00	6243294.98	155.90	69244897.30
Recreación	737.80	66.43	49015.50	24194.93	32.79	31453.41	42.63	56072.80	87526.21	118.63	1592977.04
Protector fauna	51388.30	55.63	2858596.17	2742869.22	53.38	3565729.99	69.39	103671.60	3669401.59	71.41	62228333.58
Protector agua suelo	23522.90	129.17	3038512.08	2116724.83	89.99	2751742.27	116.98	872822.00	3624564.27	154.09	6596069.76
Protector litoral	33617.00	89.66	3014130.36	2588519.29	77.00	2348626.08	69.86	869264.00	3217890.08	95.72	29769272.78
Productor	109723.50	178.46	19581181.80	10078515.66	91.85	13102070.36	119.41	7974353.20	21076423.60	192.09	383590909.00
TOTAL											