

**MONITOREO Y EVALUACION DE CAPTURA DE CO2 EN ESPECIES
NATIVAS DEL BOSQUE ANDINO – CASO PARQUE ECOLOGICO
LA POMA**

**ING. NILTON MANUEL CASTELLANOS BANDERA
ING. ANDRES GUERRA MONTAÑEZ**

Monografía para optar al título de especialista en Ingeniería Ambiental

Director

ING. ESP FERNEY AUGUSTO ROJAS RAMIREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2009

**MONITOREO Y EVALUACION DE CAPTURA DE CO2 EN ESPECIES
NATIVAS DEL BOSQUE ANDINO – CASO PARQUE ECOLOGICO
LA POMA**

**ING. NILTON MANUEL CASTELLANOS BANDERAS
ING. ANDRES GUERRA MONTAÑEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2009

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

A mis padres que gracias a su apoyo y confianza pude realizar un nuevo logro en mi vida. A Daniela Fernanda que ha sido el motor inspirador para mí surgir personal y profesional.

Nilton Manuel.

A mis padres por el apoyo eterno, a Priscila por el ánimo inconmensurable, a Fabián por enseñarme que las cosas se hacen aquí y ahora.

Andrés.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Corporación Ambiental Empresarial por permitirnos usar sus instalaciones para el montaje de los ensayos experimentales.

Al Ing. Esp. Ferney Augusto Rojas Ramírez. Director de este proyecto por su colaboración, apoyo y experiencia para la elaboración de este trabajo.

A los ing Alexander Ibagón y Mauricio Castro por su apoyo y colaboración en el montaje, recolección y análisis de resultados.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
2. AREA DE ESTUDIO	3
2.1 UBICACION	3
2.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS	4
2.2.1 Precipitación	5
2.2.2 Temperatura	6
2.2.3 Humedad relativa	6
2.2.4 Evaporación	7
2.2.5 Brillo Solar	7
2.2.6 Radiación solar	8
2.2.7 Vientos	8
2.3 SUELOS	9
2.4 VEGETACION	9
3. MONITOREO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL CONTENIDO DE CARBONO PRESENTES EN CUATRO ESPECIES NATIVAS DE INTERÉS PARA EL PROGRAMA HOJAS VERDES EN EL PARQUE ECOLÓGICO LA POMA	11
3.1 MARCO REFERENCIAL	11
3.1.1 Dióxido de carbono	13
3.1.2 La fotosíntesis	15
3.1.3 Fuentes que generan CO₂	17
3.1.4 Investigaciones similares	17
3.2 MARCO METODOLÓGICO	22
3.2.1 Descripción de la metodología para cuantificación de Carbono	22
3.2.2 Cuantificación de biomasa a partir de muestreos destructivos	22

3.2.3 Cálculo de densidades y proporciones de peso seco/peso húmedo	22
3.2.4 Cuantificación de la biomasa seca	23
3.3 METODOLOGIA EMPLEADA EN LA CAPTURA DE CO2 PARA LA ZONA DE ESTUDIO – CASO PARQUE ECOLÓGICO LA POMA EN LO CORRESPONDIENTE AL ÁREA DE PLANTACIÓN DE LOS SECTORES DE SIEMBRA	24
3.4 RESULTADOS Y ANALISIS	27
3.5 CANTIDAD DE HOJARASCA RECOLECTADA DURANTE EL MONITOREO LLEVADO A CABO EN EL PARQUE ECOLÓGICO LA POMA	29
3.6 CONTENIDO DE CARBONO EXPRESADO EN FUNCIÓN DEL PESO DE LA HOJARASCA SECA	30
3.7 ANALISIS MATEMÁTICO DEL CONTENIDO DE CARBONO CAPTURADO EN LA HOJARASCA SECA RECOLECTADA EN EL PROCESO DE ESTUDIO	32
BIBLIOGRAFIA	35

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del parque ecológico la Poma	3
Figura 2. Mapa parque ecológico la Poma	4
Figura 3. Elevación de las concentraciones de CO₂ a través de las décadas	12
Figura 4. Ciclo del carbono	15
Figura 5. Proceso de fotosíntesis	16
Figura 6. Características dimensionales de las trampas	25
Figura 7. Relación del contenido de carbono de cada una de las especies evaluadas, expresada en mgCO₂/100gr/muestra	28
Figura 8. Hojarasca total en plantación expresada en gramos	29
Figura 9. Contenido de carbono expresado en función del peso de la hojarasca seca (para un espaciamiento de 9m²)	31
Figura 10. Contenido de carbono expresado en función del peso de la hojarasca seca (para un espaciamiento de 12m²)	32

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especies seleccionadas para el estudio	26
Tabla 2. Contenido de carbono mediante análisis químico	27
Tabla 3. Hojarasca total recolectada por especie	29
Tabla 4. Contenido de carbono en hojarasca seca, para un periodo de tres meses de monitoreo en el parque ecológico la Poma	30
Tabla 5. Hojarasca recolectada en el periodo de estudio por especie	32

TITULO: MONITOREO Y EVALUACION DE CAPTURA DE CO2 EN ESPECIES NATIVAS DEL BOSQUE ANDINO – CASO PARQUE ECOLOGICO LA POMA*

Autores: CASTELLANOS BANDERAS, Nilton Manuel†
GUERRA MONTAÑEZ, Andrés

Palabras Claves: Especies nativas, captura de carbono, fijación de carbono, hojarasca, necromasa, cobertura vegetal.

En el parque Ecológico la Poma desde el año 1997 se han venido desarrollando diferentes proyectos formulados a través de las diferentes líneas de investigación contempladas en el plan maestro de investigación, para el año 2008 se dio inicio a un proyecto relacionado con la determinación preliminar de la captura de Carbono por las especies nativas presentes en el parque, abriendo la posibilidad de crear una nueva línea de investigación.

El contenido de carbono promedio (CC) como resultado de los análisis de laboratorio, expresado en mgC/100gr de muestra, presente en los diferentes componentes del árbol (hojas, flores, frutos, y ramillas) son: Tibar (*Escallonia paniculada*), 77.23 Hayuelo (*Dodonaea viscosa*) 64.58. mg CO2/100gr de muestra respectivamente.

De igual forma al analizar los resultados correspondientes al contenido de carbono de acuerdo al peso seco de la hojarasca seca, se determinó que el Duraznillo (*Abatia parviflora*), arrojó excelentes resultados en cuanto a adaptación a las condiciones particulares de la zona correspondiente a ecosistemas de Bosque Alto Andino, siendo además la que se encuentra aportando mayor cantidad de contenido de carbono de acuerdo al peso seco de la hojarasca de 1.475 TonC/Ha/año; el roble (*Quercus humboldtii*) presentó el menor aporte de materia orgánica expresada en peso 0.289 Ton/Ha/año, debido a que es una especie arbórea de lento crecimiento, y durante el tiempo en que se llevó a cabo el muestreo no presentó ciclos de floración ni fructificación.

* Trabajo de grado

** Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ing. Ferney Augusto Rojas Ramírez

TITLE: MONITORING AND EVALUATION OF CAPTURE OF CO₂ IN NATIVE SPECIES OF ANDEAN FOREST - THE ECOLOGICAL PARK POMA CASE*

Authors: CASTELLANOS BANDERAS, Nilton Manuel**
GUERRA MONTANEZ Andres**

Key words: Native Species, carbon sequestration, carbon sequestration, litter, necromass, plant coverage.

Ecological park in the Poma since 1997 have been developing various projects formulated through the various lines of investigation contemplata in the master plan of investigation, by the year 2008 marked the beginning of a long-term project related to the determination preliminary Carbon capture of the species by the Natives presents ecological park in the Poma, opening the possibility of creating a new line of investigation related to the team.

The average carbon content (CC) as a result of the laboratory for analysis, expressed in mgC/100gr sample, present in the various components of the tree (leaves, flowers, fruits and twigs) are: Tibar (*Escallonia paniculata*), 77.23 Hayuelo (*Dodonaea viscosa*) 64.58. CO₂/100gr mg sample respectively.

In the same way after analyzing the results for the carbon content according to the dry weight of the litter dry, it is determined that the Duraznillo (*hit parviflora*), yielding excellent results in terms of adaptation to the particular conditions of the area for inland Forest High Andino, which is also is providing greater amount of carbon content according to the dry weight of litter Then in 1475 / Ha / year; oak (*Quercus humboldtii*) had the lowest organic matter content expressed by weight co 0289 Ton / ha / year, because it is a slow-growing tree specie, and for as long as it conducted sampling did not provide nor Fructification flowering cycles.

* Thesis

** Chemical Enginner School. Enviromental Enginner Especialist. Director: Ing. Ferney Augusto Rojas Ramírez

GLOSARIO

Abundancia: Es el número de árboles por especie, se distingue la abundancia absoluta (número de individuos por especie) y la abundancia relativa (proporción de los individuos de cada especie en el total de los individuos del ecosistema).

Análogo: Información disponible en medios diferentes al magnético, hace referencia a mapas, fotografías, planos etc.

Apear: Acción y efecto de derribar un árbol haciendo uso de las herramientas necesarias, tales como Motosierra, hacha.

Bosque sobremaduro: El termino de bosque o árbol «sobremaduro» significa que su crecimiento es muy poco o nulo debido principalmente a que sus componentes han llegado a una edad cerca de su límite de vida.

Cobertura vegetal: Porcentaje del suelo ocupado por una comunidad vegetal determinada. Área o porción de la superficie total que se encuentra bajo la proyección vertical de la vegetación.

Diámetro de copa: Línea recta que une dos extremos de la copa siguiendo las coordenadas X y Y.

Especie: Grupo de individuos (plantas o animales), estrechamente relacionados. Nombre científico con que se conocen plantas y animales.

Fisiografía: Parte de la Geología que trata sobre la forma y evolución del relieve terrestre y las causas que definen su transformación y cambio.

Hojarasca: Material correspondiente a hojas, flores, frutos y ramillas arrojado por los árboles y depositado en el suelo del bosque formando una capa de materia orgánica.

Necromasa: Parte de la biomasa de un ecosistema, formada por órganos muertos, en ocasiones unidos aún a los seres vivos, como es el caso de las ramas, hojas e inflorescencias muertas. Además de esta Necromasa, en el suelo de los ecosistemas existe siempre una cantidad de materia orgánica en diverso grado de descomposición, llegando en sus últimas etapas a la formación del humus.

Plantación: Establecimiento de una cubierta arbórea en un área determinada, a través de la cual se asegura la sobrevivencia de una densidad mínima de plantas por hectárea que, en definitiva, debe dar origen a un bosque.

Regeneración Natural: Comunidades de plantas desarrolladas sobre ciertas áreas que han sido perturbadas o modificadas debido a influencias externas como incendios, vientos o cuando el hombre las destruye, esta nueva vegetación depende de los árboles circundantes o de las semillas viables que se encuentren en el suelo después de dicho disturbio.

Sotobosque: Vegetación pequeña que crece en el suelo o primer estrato, bajo el dosel de un bosque.

1. INTRODUCCION

En el último siglo la concentración de anhídrido carbónico y otros gases efecto invernadero en la atmósfera se han ido incrementando constantemente debido a la actividad humana; a comienzos del siglo por la quema de grandes masas de vegetación para ampliar las tierras de cultivo, en los últimos decenios por el uso masivo de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural para obtener energía y en nuestros días por los procesos industriales. Según datos obtenidos por las investigaciones realizadas se tiene que la concentración media de dióxido de carbono se ha incrementado de 275 ppm (Partes por millón), antes de la revolución industrial, a 315 ppm cuando se empezaron a utilizar las primeras estaciones de monitoreo en 1958, hasta 361 ppm en 1996 cuando se dispararon las alarmas en el ámbito mundial por las consecuencias del calentamiento global.

Los efectos del cambio climático ya pueden notarse y se convierte en una amenaza directa para la supervivencia del planeta según datos de la OMS(Organización Mundial de la Salud) los efectos ya se han podido comprobar en recientes catástrofes, como la ola de calor en Europa en el 2003 que mató a 70.000 personas, el huracán Katrina, la epidemia de malaria en África Oriental por causa del aumento de las temperaturas, o la pandemia de cólera en Bangladesh tras las grandes inundaciones.

Es por estas y otras razones que se necesitan acciones urgentes para minimizar los efectos del calentamiento global, de ahí la importancia de la investigación referida en esta propuesta, dado a que nos da los lineamientos de que especies sembrar sus cantidades y su aporte con respecto a minimizar en parte el efecto nocivo del calentamiento de nuestro planeta. Dentro de la oferta de bienes y servicios ambientales que Colombia puede entrar a ofrecerle a países desarrollados a través de proyectos de MDL, Mercados Voluntarios o Emisiones

de Carbono Neutro, en tema de captura de CO₂ toma una importancia relevante para la generación de ingresos para programas como HOJAS VERDES creado por la CCB y operado por la CAEM,

2. AREA DE ESTUDIO

2.1 UBICACION

EL PARQUE ECOLOGICO LA POMA hace parte del escenario natural de la sabana de Bogotá, su historia se remonta a miles de siglos desde las primeras civilizaciones recolectoras y cazadoras que llegaron a la región, pasando por el desarrollo de la cultura muisca, la fantasía de la leyenda de Bochica y las haciendas santafereñas hasta llegar a los espacios de hoy con síndrome de expansión urbanizadora.

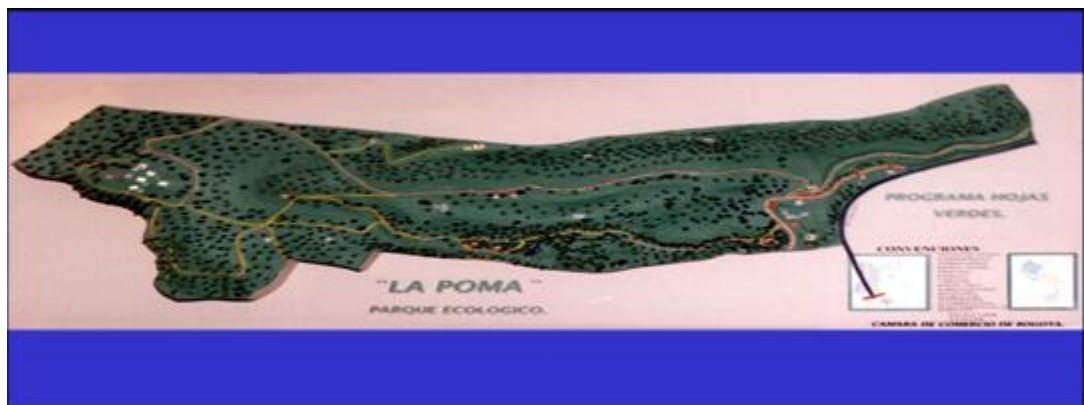
Las 140 hectáreas del proyecto LA POMA, están localizadas 1.5 Km. después del peaje de Chuzacá vía Bogotá – Silvania y al parecer hicieron parte de una hacienda más grande, conocida como TEQUENDAMA, en la actualidad es propiedad de la empresa de energía de Bogotá, hace parte de la vereda Alto de la Cruz, que pertenece al municipio de Soacha y con gran influencia del municipio de Sibate.

Figura 1. Ubicación geográfica del parque ecológico la Poma



El Parque ecológico la Poma se ubica entre los 2600 y 2800 msnm, hace parte de la micro cuenca de la quebrada el rodeo, la cual no presenta caudal alguno durante gran parte del año, los pocos aportes de agua que recibe provienen de los arroyos intermitentes de invierno y del afloramiento espontáneo de pequeños manantiales. Esta quebrada hace parte de la cuenca media del río Bogotá, desembocando a la altura del Charquito, aproximadamente 200 metros de desnivel con respecto al predio(Gutierrez.1996).

Figura 2. Mapa parque ecológico la Poma



2.2 ASPECTOS CLIMATICOS

El clima de una región es el conjunto de condiciones atmosféricas (temperatura, precipitación, humedad, radiación solar, viento etc.) que se presentan típicamente en ella durante un periodo largo de tiempo y le da las características físicas y bióticas propias del lugar.

La precipitación media multianual es de 568.4 mm, temperatura de 12.8 °C, humedad relativa de 75 %, brillo solar promedio mensual de 4.39 horas de sol, evapotranspiración potencial de 2.6 mm día, la relación de estos factores arroja un balance hídrico que acusa déficit de 498.1 mm anuales, lo que permite clasificar el área de estudio como una provincia de humedad semiárida con poco superávit de

agua, según la clasificación de Leslye Holdrige de zonas de vida pertenece a la formación vegetal bosque seco Montano Bajo (BsMb).

Para este estudio se ubicaron las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, operadas por el IDEAM, CAR Y EEB. Analizando y relacionando las características topográficas, altitudinales y de vecindad; haciendo comparaciones entre los datos climatológicos de las estaciones localizadas en la zona, se determinó que la estación más representativa para el área de estudio es la estación principal climatológica del Muña por ser una estación completa y con buen funcionamiento durante treinta años y con datos continuos y consistentes (Gutierrez.1996).

2.2.1 Precipitación La precipitación es uno de los parámetros del clima más definitorios por ser el factor controlante principal del ciclo hidrológico en una región, así como de la ecología, del paisaje y de los usos del suelo; de ahí la gran importancia en la inclusión en todos los estudios ambientales.

El régimen de precipitación en la zona de estudio está determinado en principio por su ubicación geográfica en la zona ecuatorial y por factores locales, especialmente orográficos. El factor que origina la distribución bimodal en esta zona, como en gran parte del territorio nacional, especialmente en la Zona Andina, es el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (**ZCIT**) sobre el país, y su doble paso por el territorio nacional.

El mes más lluvioso del año es Octubre con 76.6 mm de precipitación, seguido por abril con 76.3 mm. La época más seca del año está en los meses de Diciembre y Febrero, siendo Enero el mes que recibe menor cantidad de lluvias durante el año (19.1 mm) seguido por el mes de Julio (23.4 mm) anuales.

En Julio y Agosto se presenta un período semiseco de transición entre los dos períodos lluviosos. En esta época la ZCIT se encuentra en su posición más septentrional no afectando esta zona (Gutierrez.1996).

2.2.2 Temperatura Se considera la temperatura del aire y la humedad, como elementos meteorológicos muy importantes por tener influencia en todas las actividades del hombre, en la vegetación, en la fauna etc.

La variabilidad temporal y espacial de la temperatura del aire, en la sabana de Bogotá y por ende en nuestra zona de estudio es relativamente baja.

La temperatura media anual en la zona de estudio es de 12.8 °C y su variabilidad espacial y temporal como ya se dijo es muy baja.

El mes más cálido del año es Mayo con 13.3 °C y el más frío es Enero con 12.1 °C la oscilación de temperatura entre el mes más cálido y el más frío es de solo 1.2 °C.

La temperatura máxima absoluta es de 20.9 °C

La temperatura media máxima es de 18.3 °C

La temperatura media mínima es de 8.0 °C

La temperatura mínima absoluta es de 4.3 °C (Gutierrez.1996)

2.2.3 Humedad relativa Se entiende como humedad atmosférica la cantidad de agua contenida en el aire. Este parámetro está muy relacionado con la nubosidad, la precipitación, la visibilidad y de forma muy especial con la temperatura.

En nuestra zona de estudio la humedad relativa tiene una relación directa con la precipitación tanto a nivel temporal como espacial; se presentan los valores más altos de humedad relativa en las temporadas lluviosas y en las zonas de mayor

pluviosidad y los valores menores en las temporadas secas y en las zonas más secas.

Como se ve, el comportamiento anual de la humedad relativa es bimodal.

La humedad relativa media anual del aire es de 81% y su variación temporal va de 75% en el mes de Julio a 85% al mes de Noviembre (Gutierrez.1996).

2.2.4 Evaporación La evaporación en climatología es el agua transferida a la atmósfera a partir de las superficies libres de agua.

En la zona de estudio la evaporación media anual es de 1004.7 mm.

A escala temporal, los valores más altos se presentan durante los meses de Enero, Marzo, Julio y Agosto y los más bajos en Octubre, Noviembre y Diciembre.

Durante el año, el mes con menor valor multianual de evaporación es de Noviembre con 72.7 mm y el mes con mayor valor de evaporación es Julio con 96.2mm, seguido por agosto con 91.7 mm.

El promedio mensual de evaporación es de 83.4 mm

El promedio diario de evaporación es de 2.8 mm (Gutierrez.1996).

2.2.5 Brillo solar Se entiende por brillo solar el número de horas de sol, o sea de radiación solar directa recibida sobre la superficie de la tierra. Su importancia es clara en ciertos tipos de actividades como el turismo y la construcción y para el crecimiento de las plantas.

El brillo solar, insolación o radiación directa es la radiación que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin cambios de dirección.

En la zona de estudio se reciben 1578.5 horas de brillo solar como promedio en las ultimas tres décadas esto equivale a un promedio mensual de 136.9 horas de sol y aún promedio diario de 4.39 horas de sol (Gutierrez.1996).

2.2.6 Radiación solar Es el proceso de transmisión de energía por medio de ondas electromagnéticas. Es el modo como llega la energía solar a la superficie de la tierra.

Su intensidad depende de la latitud, altitud, nubosidad y pendiente del lugar.

La cantidad de radiación solar media recibida en la zona de estudio es de 367.0 Cal/Cm²/año siendo los meses de Julio, Agosto y Septiembre los que reciben mayor cantidad de radiación global.

La máxima cantidad de radiación solar global en el año se registra en el mes de julio con 397 Cal/Cm²/año y la mínima en Noviembre con 431 Cal/Cm²/año (Gutierrez.1996).

2.2.7 Vientos En la zona de estudio la velocidad escalar del viento es bastante baja y su promedio anual es de 1.7 m/seg. , Predominando los vientos débiles con abundancia de calmas.

En los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre la velocidad del viento aumenta alcanzando el valor máximo en el mes de Julio con 2.8 m/seg. y en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre la velocidad del viento decrece paulatinamente hasta llegar a sus valores mínimos en el mes de Noviembre con 1.4 m/seg.(Gutierrez.1996).

2.3 SUELOS

Los suelos son cuerpos naturales que recubren la superficie de la tierra; estos no aparecen al azar, sino que es producto de la interacción del clima y los organismos actuando sobre los materiales de origen, en un tiempo y en un relieve determinado. Los suelos son parte fundamental de las potencialidades y limitantes de la producción primaria de cualquier zona y constituyen uno de los derroteros más importantes en los planes de desarrollo de una región.

La evolución de cualquier suelo obedece a cinco factores formadores de los mismos: condiciones climáticas, material parental, relieve, tiempo y organismos (Buol 1980 Cortés 1984). En el caso del terreno de LA POMA el factor más importante es el material parental representado en cenizas volcánicas de edad pleistoceno-holoceno recubriendo materiales de areniscas y arcillolitas de edad cretácea; la ceniza volcánica en condiciones de humedad y baja temperatura se descompone en sustancias amorfas ricas en hierro y aluminio muy activos que ocasionan por un lado, una fuerte retención de fósforo y una alta acidez y, por otro, un acomplejamiento de la materia orgánica en compuestos poco mineralizados. Además, la ceniza volcánica hereda otras propiedades físicas como son: baja densidad aparente, alta porosidad y buena retención de humedad (Otero.1996).

2.4 VEGETACION

Según las zonas de vida de Holdrige, EL PARQUE ECOLOGICO LA POMA corresponde al tipo de Bosque seco Montano Bajo (BsMb), con vegetación característica de los bosques andinos de la cordillera oriental colombiana.

Según la estructura del plan de investigaciones EL PARQUE ECOLOGICO cuenta con un total de 140 has conformadas de la siguiente manera: Ecosistema de

pradera con 102.1 has, Bosque de eucalipto con 16.4 has y bosque secundario con 21.5 has.

Para el ecosistema de pradera se encontró que la especie con mayor dominancia es el Hayuelo (*Dodonea viscosa*) con un porcentaje de 25.61%, le sigue el Salvia (*Eupatorium Amplum*) con un porcentaje de 18.26%, luego el Chilco (*Baccharis latifolia*) con un porcentaje de 13.35% y luego La jarilla () con un porcentaje de 3.42%. El ecosistema de bosque de eucalipto se encuentra dominado por una plantación de *Eucalyptus glóbulos* y debajo de este dosel crecen naturalmente especies nativas en donde se observa que el mayor nivel de abundancia es de 61.24% y corresponde al arrayán (*Myrcianthes leucoxylla*), seguido del Salvia (*Eupatorium Amplum*) con 30.28%, uva de anís (*Cavendishia cordiflora*) con 28.7% y el corono (*Xylosma spiculiferum*) con 28.57%. Y en el ecosistema de bosque secundario especie más frecuente es el Hayuelo (*Dodonea viscosa*), con un porcentaje de 15.82%, le sigue el Salvia (*Eupatorium Amplum*) con un porcentaje de 14.01% y el Corono (*Xylosma spiculiferum*) con un porcentaje de 10.19% (Otero.1996).

3. MONITOREO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL CONTENIDO DE CARBONO PRESENTE EN CUATRO ESPECIES NATIVAS DE INTERES PARA EL PROGRAMA HOJAS VERDES EN EL PARQUE ECOLOGICO LA POMA

3.1 MARCO REFERENCIAL

La troposfera es la parte baja de la atmósfera, de 10 a 15 kilómetros de ancho. Dentro de la troposfera hay gases llamados gases invernadero. Cuando la luz del sol alcanza La Tierra, una parte es transformada en calor. Los gases invernadero absorben parte del calor y lo retienen cerca de la superficie terrestre, de forma que La Tierra se calienta. Este proceso, comúnmente conocido como efecto invernadero, fue descubierto hace muchos años y fue más tarde confirmado por medio de experimentos de laboratorio y medidas atmosféricas.

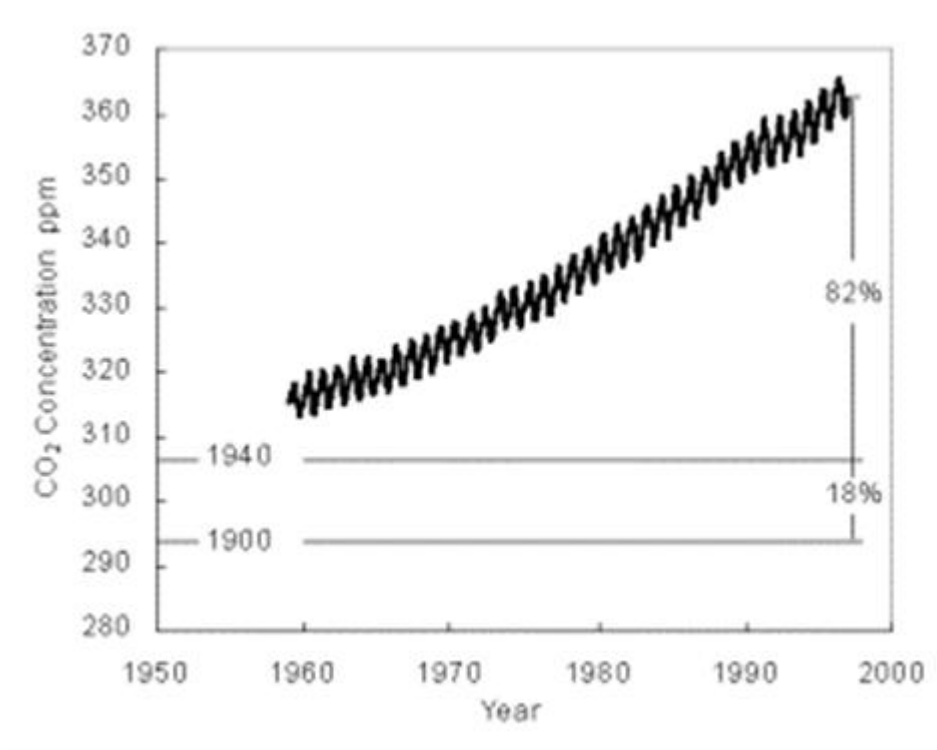
La vida tal y como la conocemos existe únicamente gracias a este efecto invernadero natural, porque este proceso regula la temperatura de La Tierra. Cuando el efecto invernadero no exista, toda La Tierra se cubrirá de hielo. La cantidad de calor retenida en la troposfera determina la temperatura de La Tierra. La cantidad de calor en la troposfera depende de las concentraciones de los gases invernadero y de la cantidad de tiempo que estos gases permanecen en la atmósfera. Los gases invernadero más importantes son dióxido de carbono, CFCs (Cloro Fluoro Carbonos), óxidos de nitrógeno y metano.

Desde el inicio de la revolución industrial en 1850, los procesos humanos han estado provocando emisiones de gases invernadero, tales como CFCs y dióxido de carbono (figura 3).

A pesar de las muchas variables que influyen sobre el balance energético del sistema climático (cambios en la cantidad de aerosoles en la atmósfera, cambios

en la radiación solar y en las propiedades de la superficie terrestre), el mecanismo fundamental que explica el calentamiento terrestre es el llamado **efecto invernadero**, consistente en la acumulación de calor en las capas bajas de la atmósfera, como consecuencia de la intervención de ciertos gases, cuya peculiaridad es que son casi transparentes para la radiación de onda corta que llega del sol, pero opacos para la radiación de onda larga emitida desde la Tierra.

Figura 3. Elevación de las concentraciones de Dióxido de Carbono a través de las décadas.



Fuente: GAYOSO AGUILAR, Jorge. Medición de la capacidad de captura de carbono den bosques nativos u plantaciones de chile.

Los gases que provocan el efecto invernadero (GEI) existen de forma natural en la atmósfera, siendo el dióxido de carbono y el vapor de agua los más

representativos, ya que posibilitan la vida en el planeta al elevar la temperatura hasta niveles óptimos para su existencia.

El problema surge cuando aumentan significativamente. El incremento de su concentración en la atmósfera da como resultado una mayor captación de radiación infrarroja, que vuelve a ser emitida a la tierra con el consiguiente aumento de las temperaturas sobre la superficie, lo que conlleva un calentamiento global. Los aspectos de carácter global más afectados por el cambio climático son los sistemas de circulación atmosférica y oceánica y el ciclo biogeoquímico del carbono, afectando ambos al sistema climático y, por ello, a aspectos importantes de la biosfera como el funcionamiento de los ecosistemas naturales, y existiendo finalmente, una incidencia humana en la salud, la agricultura, la pesca, las poblaciones de enclaves cercanos a la costa y amplios sectores financieros.

3.1.1 Dióxido de carbono. El carbono es un componente esencial de nuestros cuerpos, los alimentos que comemos, la ropa que usamos, la mayor parte del combustible que consumimos y muchos otros materiales que utilizamos. Más del 90% de los compuestos químicos conocidos contienen carbono. Esto no nos sorprende ya que el carbono se combina muy fácilmente con otros elementos y con él mismo.

De igual manera es un importante gas invernadero, puesto que ayuda a atrapar el calor en nuestra atmósfera; sin él, nuestro planeta sería inhospitalariamente frío. Sin embargo, un aumento gradual de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera está conduciendo a un calentamiento global, que amenaza con producir estragos en el clima a medida que las temperaturas mundiales promedio siguen aumentando gradualmente.

El dióxido de carbono es el cuarto componente más abundante en aire seco, con concentraciones de 380 ppmv (partículas por millón por volumen) en la atmósfera. Los científicos calculan que antes de la actividad industrial de los seres humanos,

las concentraciones de CO₂ eran de aproximadamente 270 ppmv. Los niveles de dióxido de carbono en nuestra atmósfera se han elevado cerca de un 40% desde el comienzo de la industrialización, y se espera que juegue un papel preocupante en el aumento de la temperatura de la Tierra. Las concentraciones de dióxido de carbono atmosférico han variado substancialmente en la historia pre-humana de nuestro planeta, y ha tenido impactos profundos sobre las temperaturas mundiales en el pasado.

Los seres humanos usamos el dióxido de carbono de muchas formas diferentes. El ejemplo más familiar es el uso en bebidas refrescantes y cerveza, para hacerlas gaseosas. El dióxido de carbono liberado por la levadura hace que la masa se hinche.

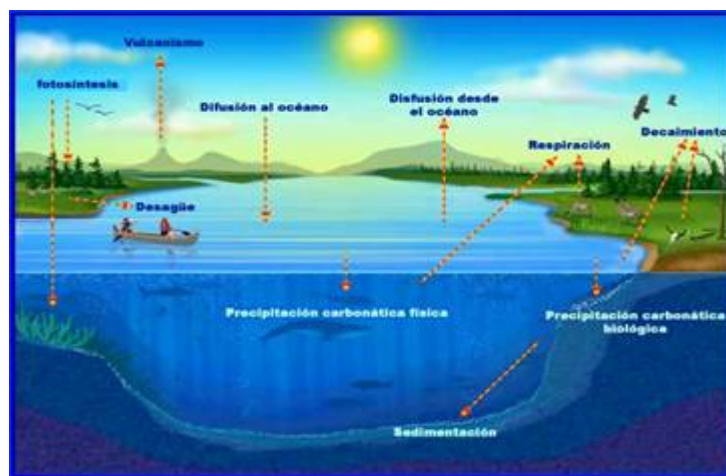
Algunos extintores usan dióxido de carbono porque es más denso que el aire. El dióxido de carbono puede cubrir un fuego, debido a su pesadez. Impide que el oxígeno tenga acceso al fuego y como resultado, el material en combustión es privado del oxígeno que necesita para continuar ardiendo. El dióxido de carbono también es usado en una tecnología llamada extracción de fluido supercrítico que es usada para descafeinar el café. La forma sólida del dióxido de carbono, comúnmente conocida como hielo seco, se usa en los teatros para crear nieblas en el escenario y hacer que cosas como las “pociones mágicas” burbujeen.

Adicionalmente el dióxido de carbono juega un papel fundamental en el ciclo del carbono terrestre, el conjunto de procesos por los que pasa el carbono en las diversas formas a través de nuestro medio ambiente. Gases volcánicos y fuegos descontrolados son dos importantes fuentes naturales de CO₂ en la atmósfera terrestre. La respiración, que es el proceso a través del cual los organismos liberan la energía del alimento, produce dióxido de carbono. Cuando exhalas, liberas dióxido de carbono entre otros gases. La combustión, ya sea producida

por fuego descontrolado como resultado de las prácticas agrícolas o de los motores de combustión interna, produce dióxido de carbono.

Ciclo del carbono (ecología), en ecología, ciclo de utilización del carbono 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 (CO_2) presente en la atmósfera o disuelto en el agua. Parte de este carbono pasa a formar parte de los tejidos vegetales en forma de hidratos de carbono, grasas y proteínas; el resto es devuelto a la atmósfera o al agua mediante la respiración. Así, el carbono pasa a los herbívoros que comen las plantas y de ese modo utilizan, reorganizan y degradan los compuestos de carbono. Gran parte de éste es liberado en forma de CO_2 por la respiración, como producto secundario del metabolismo, 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_2 , que es utilizado de nuevo por las plantas (figura 4).

Figura 4. El ciclo del carbono



Fuente: DE LA VEGA L., José Alejandro. Calentamiento global - ciclo del carbono.

3.1.2 La fotosíntesis. Es el proceso bioquímico a través del cual las plantas y algunos microbios producen alimento, permitiendo que las plantas vivan y crezcan consumiendo dióxido de carbono. Los organismos fotosintéticos combinan CO_2 y agua (H_2O) utilizando energía de la radiación solar (luz del sol) para producir carbohidratos, tales como los azúcares, y emiten oxígeno como producto derivado (figura 5).

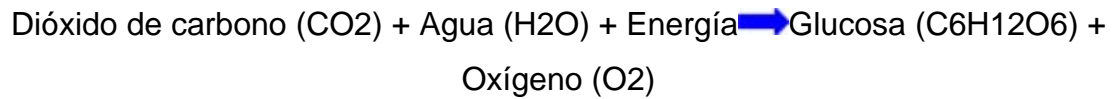
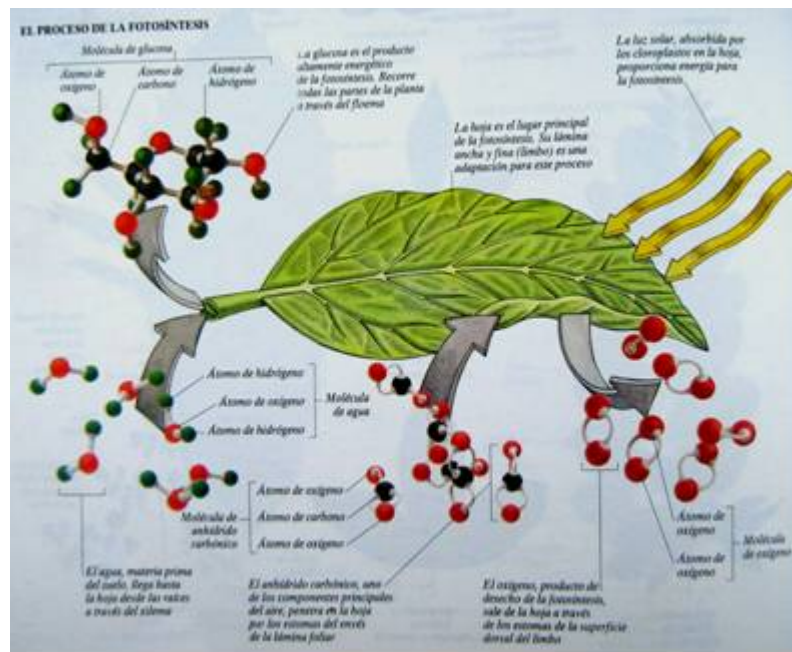


Figura 5. Proceso de la Fotosíntesis.



Fuente: Enciclopedia visual seres vivos.

La fotosíntesis representa casi la mitad del carbono extraído de la atmósfera. Las plantas terrestres toman la mayor parte del dióxido de carbono del aire que las rodea. La fotosíntesis de plantas acuáticas en lagos, mares y océanos utiliza el dióxido de carbono disuelto en el agua.

Por consiguiente, lugares como bosques y áreas del océano en donde existen microbios fotosintéticos, actúan como inmensos depósitos de carbono, que remueven el dióxido de carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis eliminando el carbono de la atmósfera.

3.1.3 Fuentes que generan CO₂. La combustión genera CO₂, aunque, cuando es incompleta debido a una cantidad de oxígeno limitada o a un exceso de carbono, puede también producir monóxido de carbono (CO). El monóxido de carbono es un peligroso contaminante que finalmente se oxida a dióxido de carbono.

Existen pequeñas latas de CO₂ presurizado que se utilizan para inflar llantas de bicicleta y chalecos salvavidas y para suministrar energía a pistolas de pelotas de pintura. Las “burbujas” de las bebidas son producidas con dióxido de carbono. Este gas es también liberado por la levadura durante la fermentación, dando a la cerveza su espuma y haciendo burbujeante la champaña. Puesto que no es inflamable, el CO₂ se utiliza en algunos extintores de incendio. El dióxido de carbono forma un ácido débil cuando se disuelve en agua llamado ácido carbónico (H₂CO₃).

El dióxido de carbono es el gas más abundante en las atmósferas de Marte y Venus. El dióxido de carbono sólido y congelado recibe el nombre de “hielo seco”. Las capas de hielo polar de Marte son una mezcla de hielo de agua y de hielo seco. El CO₂ líquido solo se forma a presiones superiores alrededor de cinco veces la presión atmosférica sobre la Tierra a nivel del mar, así que en muchas ocasiones el hielo seco no se derrite pasando por una forma líquida. En lugar de eso, cambia directamente de estado sólido a gaseoso en un proceso llamado sublimación.

3.1.4 Investigaciones Similares

La fijación de carbono, contrario a lo que parece, no es un tema relativamente

nuevo, puesto que como se mencionó anteriormente, algunos proyectos ya se habían ejecutado una década atrás. Sin embargo, la amplia problemática ambiental derivada del cambio climático, generó una serie de investigaciones sobre la dinámica de fijación y liberación de carbono asociados al sector de Uso del Suelo y las Actividades Forestales (LUCF), puesto que como ya se ha dicho es éste sector el que mayores potencialidades presenta como alternativa de mitigación del calentamiento global.

Dentro del campo del Uso del Suelo y las Actividades Forestales, las prácticas agrosilvícolas juegan un papel muy importante, puesto que son técnicas altamente efectivas para incrementar la productividad y reducir la presión sobre los bosques. Las investigaciones sobre captura de carbono en el campo de la de la conservación de bosques es incipiente y hasta ahora se están ejecutando algunos proyectos pioneros, los cuales se están llevando a cabo en Costa Rica y México principalmente. A continuación se detallan algunas de ellas.

Balance de Emisiones de Efecto Invernadero en tres Zonas de Vida de Costa Rica.

Esta investigación fue llevada a cabo en tres zonas ecológicas de Costa Rica: Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB), Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-PM) y Bosque Húmedo Tropical (bh-T) de acuerdo a las Zonas de Vida de Holdridge. Se efectuaron mediciones de gases de efecto de invernadero como el CO₂, N₂O y CH₄ mediante el empleo de un cromatógrafo de gases. Con los datos obtenidos se calculó el factor de emisión (cantidad de gases emitidos por unidad de área) y la emisión neta (factor de emisión menos la emisión neta del ecosistema natural).

El componente arbóreo estaba compuesto de aliso (***Alnus acuminata***) en la zona de vida b-MB y nogal cafetero (***Cordia alliodora***) en el bmh-PM y bh-T. Para éste estudio se consideraron densidades de siembra de 75 árboles / hectárea con una edad promedio de 15 años y un volumen total de 0,287 m³/árbol en el b-MB y

0,392 m³/árbol en el bmh-PM y en el bh-T.

Se muestrearon y analizaron los pastos Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, fertilizado con 485 kg de N/Ha/año), estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*, fertilizado con 250 Kg de N/Ha/año) y ratana (*Ischaemum indicum*, sin fertilización).

Se simularon las emisiones de metano (CH₄) provenientes del ganado. Para comparar las variables en el sistema silvopastoril, se usó un ecosistema de bosque natural en cada Zona de Vida, donde se hicieron las mismas determinaciones que para el sistema silvopastoril.

Los principales resultados obtenidos en esta investigación fueron:

- En el bh-MB, el factor de emisión para N₂O y el CO₂ fue mayor para el sistema silvopastoril (SSP) (6,38kg de N/Ha/año y 9,06Kg de C/Ha/año) que para el ecosistema natural (0,72Kg de N/Ha/año). En el caso del sistema silvopastoril del bmh-PM, las emisiones de N₂O fueron de 3,14Kg de N/Ha/año; mientras que para el bosque natural fueron de 4,72Kg de N/Ha/año. Los mayores niveles en el bosque natural eran debido a la tasa de nitrógeno reciclado y a un alto contenido de nitratos detectados en el suelo. Las pasturas presentaron menores niveles de nitratos que el bosque natural. Las emisiones de CO₂ que se obtuvieron en bosque natural (2,51Kg/Ha/año) fueron menores que en el SSP del bosque Muy Húmedo Premontano (6,03Kg. de C/Ha /año).
- En el SSP del Bosque Húmedo Tropical (bh-T), las emisiones fueron de 2,28 Kg. de N/Ha/año y 6,17Kg de C/Ha/año, mientras que en el ecosistema natural, éstos valores fueron de 1,12Kg de N y 2,18Kg de C por hectárea / año. En ambos casos las emisiones fueron mayores en el SSP debido a la mayor cantidad de nitrógeno en el suelo, como producto del reciclaje que llevan a cabo los animales en el pastoreo.
- Las emisiones de metano (CH₄) en el SSP del bmh-PM fueron de 654Kg, seguido por el bh-MB con 360Kg y el bh-T con 183 Kg. Las diferencias en el

nivel de emisiones se deben al manejo del SSP; el predio localizado en el bmh-PM manejó mayor carga animal (6,5 animales / ha) que el b-MB (3,9 animales / ha) y el bh-T (2,2 animales / ha).

- Los niveles de carbono determinados en el suelo del SSP (b-MB: 41,2 TnC/Ha, bmh-PM: 20,9 TnC/Ha y bh-T: 42,8 TnC/Ha) fueron mayores que los del ecosistema de bosque natural (b-MB: 35,2 TnC/Ha, bmh-PM: 15,7 TnC/Ha, y bh-T: 24,8 TnC/Ha). Esto fue posible, debido a la abundante biomasa radicular de los pastos, siendo la proporción de arena presente en estos suelos un factor estimulante en el desarrollo radicular (Veldkamp, 1994; citado por Montenegro y Abarca, 2000).
- La cantidad estimada de C fijado por hectárea anualmente en el componente arbóreo del SSP fue mayor en los ecosistemas de Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-PM) y Bosque Húmedo Tropical (bh-T) (313 Kg) que en el Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB) (229 Kg). Esto debido a la alta tasa de crecimiento que presenta el nogal cafetero (***Cordia alliodora***) en estos ecosistemas en comparación con el aliso (***Alnus acuminata***).

Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona Atlántica de Costa Rica.

En ésta investigación se cuantificó el carbono almacenado en los bosques húmedos tropicales ubicados en la zona Atlántica de Costa Rica. Se elaboraron ecuaciones alométricas para obtener la biomasa total y la cantidad de carbono fijado por éste tipo de bosque a través de la medición directa de la biomasa de individuos de siete especies forestales.

El área de estudio comprendía dos áreas experimentales: Tirimbina Rain Forest Center, en Sarapiquí, Heredia, localizada a 160 y 220 m.s.n.m (Quirós y Finegan, 1994, citados por Segura et al., 1999), y los Laureles de Corinto, en Limón, con una precipitación anual de 4000 mm y una temperatura media mensual de 23,7 °C (Quirós, 1998, citado por Segura et al, 1999).

Se seleccionaron 10 fincas con bosque natural ubicadas en un radio de 10 Km. Para medir directamente la biomasa, se eligieron dos fincas en las que ya se había hecho aprovechamiento comercial. Mediante el análisis de las parcelas permanentes de las dos áreas experimentales se identificaron las especies dominantes según el criterio de área basal para tratamientos silviculturales. Se muestrearon 19 individuos de siete especies: tres de *Carapa guianensis*, tres de *Inga coruscans*, dos de *Laetia procera*, cuatro de *Pentaclethra macroloba*, uno de *Stryphnodendron microstachyum*, tres de *Tapirira guianensis* y tres de *Vochysia ferruginea*. La biomasa de cada árbol se dividió en cuatro componentes: volumen y biomasa del fuste comercial, ramas grandes (diámetro 11 cm.), ramas pequeñas (diámetro 11cm), tocón y trozas no comerciales.

De igual forma, se tomaron muestras de 23 individuos para cuantificar la fracción de carbono con el método de calorimetría (Eduarte y Segura, 1999) y de 20 para determinar la gravedad específica o densidad básica. También se calculó el Factor de Expansión de Biomasa (FEB), que es la relación entre la biomasa total y la biomasa del fuste.

Los resultados obtenidos en esta investigación arrojaron un valor promedio de biomasa total por árbol de 4,3 Tn para la clase diamétrica comprendida entre 60 y 70 cm; para la clase diamétrica de 71 a 80cm, el promedio fue de 5,4 Tn; para las siguientes clases, de 81 a 90 cm, 91 a 100 cm y mayores a 101 cm., la biomasa total promedio por individuo fue 7.3, 9.06 y 11.98 Tn, respectivamente.

El factor de expansión de biomasa (FEB) promedio fue de 1.6, con una variación entre 1.3 y 2.2 y un coeficiente de variación del 15%. La especie que presentó el FEB mas alto fue *T. guianensis* con 2; mientras que *L. procera* obtuvo el FEB mas bajo con 1.4.

La biomasa total estimada y el carbono almacenado en los bosques de las áreas

experimentales varió entre zonas ($P = 0,05$). En Corinto se reportó, en promedio, la mayor biomasa y carbono almacenado a partir de los 10 centímetros de DAP, superando en un 20% al área de Tirimbina.

Se presentaron diferencias entre la biomasa total y el carbono almacenado entre los sitios de estudio; la cual fue mayor en Corinto que en Tirimbina. El contenido de carbono almacenado entre bosques de la misma zona varió según el manejo recibido. La Tasa de Fijación Anual de Carbono varió entre bosques (0.4 a 1.4 TnC/Ha/año), dependiendo de la densidad básica y de la fracción de carbono de las especies.

3.2 MARCO METODOLOGICO

3.2.1 Descripción de la Metodología para Cuantificación de Carbono

La fijación de carbono se determinó a partir de la medición directa de la biomasa, a través del peso de la hojarasca (biomasa aérea). Mediante el uso de la proporción peso seco/ peso húmedo de muestras colectadas en campo se obtuvo el peso anhidro de la hojarasca.

Se determinó el contenido de carbono mediante el procedimiento de Schollenberger para cada una de las muestras tomadas con el objetivo de observar posibles diferencias entre las mismas.

3.2.2 Cuantificación de Biomasa a Partir de Muestreos Destructivos

Para estimar el almacenamiento potencial de carbono de una especie durante un período de tiempo dado, se hace necesario obtener datos sobre acumulación de biomasa, lo cual, se consigue a través de las mediciones en el tiempo aplicadas a vegetación de diferentes edades, para así predecir la manera como una especie /

sistema acumulan biomasa a través del tiempo.

La cuantificación de biomasa de las especies, se realizó tomando como base el peso total verde o húmedo de los ejemplares escogidos.

3.2.3 Cálculo de Densidades y Proporción Peso Seco/ Peso Húmedo

Para calcular el peso seco de una especie vegetal, es necesario establecer la densidad básica (peso específico), así como la relación entre el peso seco y el peso húmedo de componentes no leñosos tales como las ramas pequeñas, hojas y frutos.

La densidad básica es la relación entre la masa en estado anhidro (seco) y el volumen en verde (húmedo); mientras que la relación peso seco/ peso húmedo, puede definirse como el porcentaje de materia seca con respecto a la materia húmeda.

- a En el caso de las ramas pequeñas, hojas o raíces; se toman muestras de cada una de ellas (por lo menos cinco), las cuales deben ser pesadas para establecer su peso en húmedo. Posteriormente deben secarse a una temperatura de 105 °C, hasta que alcancen un peso anhidro constante. Se calcula la relación peso seco/ peso húmedo para cada una de las muestras seleccionadas y los valores resultantes son promediados para establecer una sola proporción peso seco/ peso húmedo para cada componente. El valor obtenido es multiplicado por el peso húmedo de cada componente, lo cual arrojará el peso seco del mismo.

$$\frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Peso húmedo}} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Peso húmedo}}$$

3.2.4 Cuantificación de Biomasa Seca

La biomasa seca total del árbol, es la suma de los pesos anhidros de todos los componentes, los cuales son expresados en kilogramos.

Adicionalmente para desarrollar el estudio, se hizo necesario tener en cuenta las características particulares de cada uno de los ecosistemas (tipo de material a estudiar, topografía, perfiles verticales y horizontal etc.), por lo cual se plantearon dos metodologías:

3.3 METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA CAPTURA DE CO₂ PARA LA ZONA DE ESTUDIO – CASO PARQUE ECOLÓGICO LA POMA EN LO CORRESPONDIENTE AL ÁREA DE PLANTACIÓN DE LOS SECTORES DE SIEMBRA.

- **Selección de especies.**

Como primer medida se realizó un estudio apoyado en el inventario de existencias del parque, para determinar las especies que presentan mayor abundancia y variabilidad en edad en las áreas plantadas dentro del parque, estableciendo un orden de importancia de especies para posteriormente llevar a cabo la selección de los individuos teniendo en cuenta estos dos parámetros.

- **Estandarización de las trampas.**

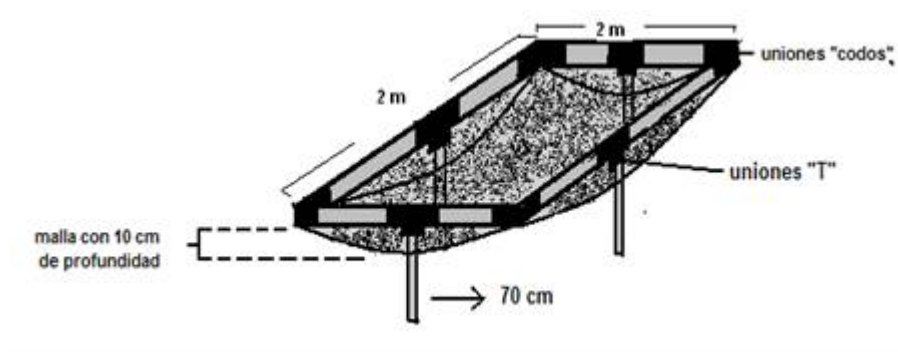
Una vez seleccionadas las cuatro (4) especies de mayor abundancia y variabilidad en edad Hayuelo (*Dodonea viscosa*), Roble (*Quercus humboldtii*), Duraznillo (*Abatia parviflora*) y Tibar (*Escollonia panicunata*) se escogieron tres individuos en cada intervalo de edad siendo estas de 10, 8 y 7 años para un total

de 36 individuos seleccionados, posteriormente, se realizó un muestreo inicial de los diámetros de copas a cada uno de los individuos, con el fin de estandarizar el área de las trampas utilizadas en el muestreo.

- **Especificaciones de las trampas.**

Una vez estandarizada el área de las trampas en 4 metros² (2 X 2 m); se construyeron haciendo uso de tubos de PVC formando una estructura de forma cuadrada, a la cual se sujetó una bolsa de captura de fibra de polipropileno con una profundidad de 10cm aproximadamente, para evitar la salida del material de la trampa, la altura desde el nivel del suelo de cada trampa fue de 70 cm. para de esta forma evitar el ingreso de material transportado por el viento proveniente de otros individuos u otro tipo de vegetación (Figura 6). Las trampas se ubicaron directamente bajo la proyección de la copa de cada individuo objeto de estudio.

Figura 6. Características dimensionales de las trampas.



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial.

- **Codificación de las trampas**

Para efectos de codificación de las trampas, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros.

$$BP.SP \frac{E}{NT}$$

BP= Hace referencia al área plantada dentro del parque.

Sp= corresponde a la especie objeto de estudio.

E= Edad de los individuos muestreados

NT= numero de la trampa por especie.

Ejemplo:

$$BP.1 \frac{2}{3}$$

Las especies seleccionadas se clasificaron en orden alfabético para así asignarles un número a cada una y codificar en forma correcta cada uno de los individuos seleccionados:

Tabla 1. Especies seleccionadas para el estudio

Duraznillo (<i>Abatia parviflora</i>)	1
Hayuelo (<i>Dodonea viscosa</i>)	2
Roble (<i>Quercus humboldtii</i>)	3
Tibar (<i>Escollonia panicunata</i>)	4

- **Recolección del material**

A partir de la fecha de instalación de las trampas se realizaron colectas quincenales de la hojarasca capturada en cada una de ellas, todo el material depositado en cada trampa a lo largo de dicho periodo se empacó y rotuló en bolsas tipo ziploc, debidamente marcadas teniendo en cuenta el código asignado a la trampa de la cual fue extraído el material; posteriormente, se agruparon las muestras por especies en bolsas negras tipo basura.

- **Pruebas de laboratorio**

Al llegar las muestras al laboratorio, se retiraron de la bolsa en la cual se empacaron inicialmente en campo, para ser envueltas en bolsas hechas con papel periódico llevándolas al horno a secar a una temperatura de entre 40 y 50°C durante 48 horas, hay que tener en cuenta el seguimiento de la rotulación que se le asignó inicialmente a la muestra; una vez seca la hojarasca, esta se clasifica en hojas, flores, frutos, ramas y material indeterminado, con el fin de pesar cada componente por separado en una balanza digital de precisión y consignar los registros en las correspondientes planillas previamente diseñadas.

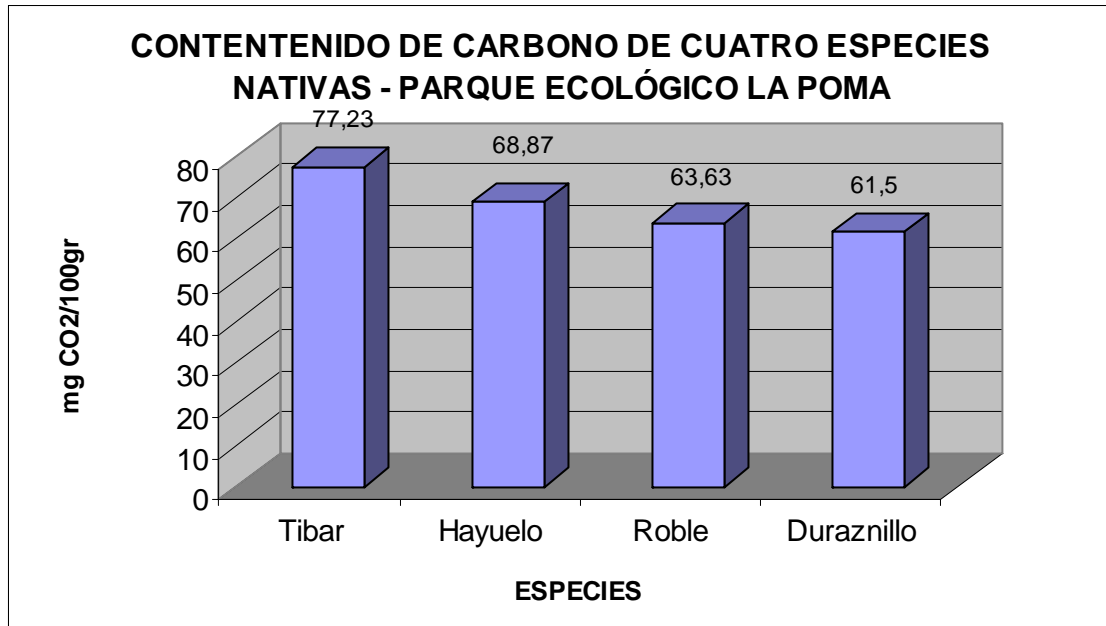
3.4 RESULTADOS Y ANALISIS

El contenido de carbono promedio (CC) presente de los diferentes componentes del árbol (hojas, flores, frutos, ramillas y material indeterminado) y de la regeneración natural y el eucalipto se relaciona a continuación:

Tabla 2. Contenido de carbono mediante análisis químico.

Tipo de muestra	Numero de recolecciones realizadas	Numero de muestras analizadas (100 gr)	Contenido de carbono mgCO ₂ /100gr muestra
TIBAR	6	1	77,23
HAYUELO	6	1	68,87
ROBLE	6	1	63,63
DURAZNILLO	6	1	61,58

Figura 7. Relación del contenido de carbono de cada una de las especies evaluadas, expresada en mgCO₂/100gr muestra



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial.

De acuerdo a los resultados la especie que más contenido de carbono presento al momento de realizar los análisis de laboratorio, fue el Tibar (*Escollonia panicunata*) con 77,23 mgCO₂/100gr muestra oscilando entre 85,8 y 64,9 mgCO₂/100gr muestra y una tendencia creciente hasta un pico de 83,1 mgCO₂/100gr muestra donde empieza a decaer nuevamente hasta un contenido final de 10.51 mgCO₂/100gr durante el proceso de descomposición ocurrido por acción de los microorganismos.

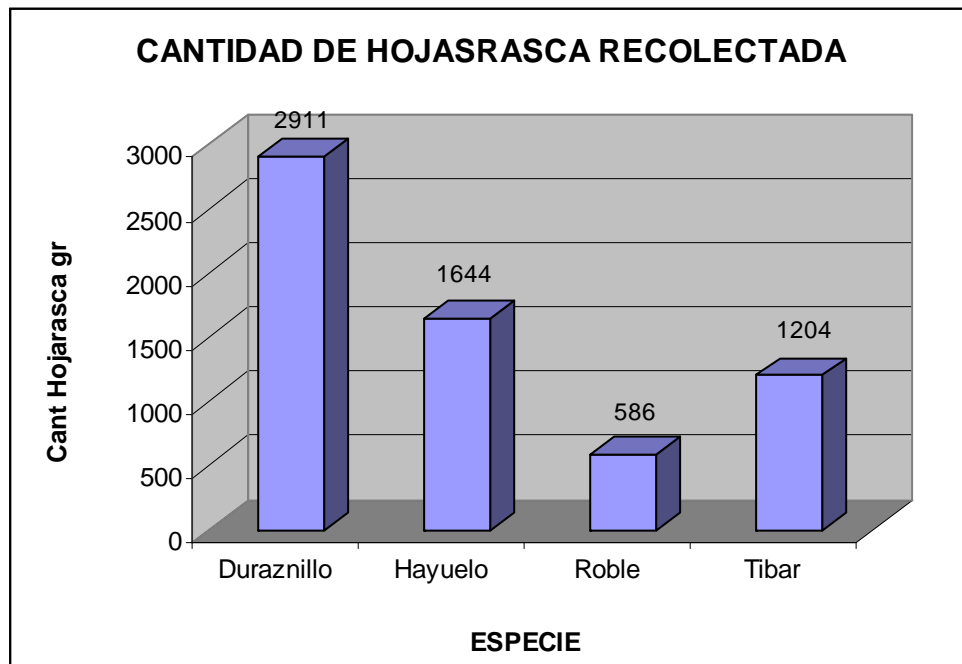
3.5 CANTIDAD DE HOJARASCA RECOLECTADA DURANTE EL MONITOREO LLEVADO A CABO EN EL PARQUE ECOLOGICO LA POMA

Tabla 3. Hojarasca total recolectada por especie.

GRUPO No.	Duraznillo	Hayuelo	Roble	Tibar
1	903,97	369,88	61,22	162,78
2	1292,86	644,34	279,7	515,6
3	794,36	630,48	245,66	526,49
Total 6 recolecciones	2991,19	1644,7	586,58	1204,87

Fuente: los Autores

Figura 8. Hojarasca total en plantación expresada en gramos.



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial

De acuerdo con el resultado obtenido durante las pruebas de laboratorio descritas anteriormente, se observa que la especie que mayor cantidad de material (hojarasca) arroja durante las recolecciones llevadas a cabo en un periodo de 3 meses, fue el duraznillo (*Abatia parviflora*), con un total de 2991,19 g de hojarasca total, encontrándose que en la segunda y tercera recolección llevadas a cabo en el mes de octubre donde ocurre el segundo pico de lluvias del año de acuerdo con el Histograma de precipitación media mensual para un periodo de treinta años (1966-1995), y que conforman el segundo grupo evaluado, concentran la mayor cantidad de material con 1292.86 g.

3.6 CONTENIDO DE CARBONO EXPRESADO EN FUNCIÓN DEL PESO DE LA HOJARASCA SECA.

De acuerdo al peso total de hojarasca seca recolectada durante los tres meses en los cuales se llevaron a cabo las recolecciones (seis en total), se puede determinar el contenido de carbono expresado en Toneladas (Ton)/Hectárea (Ha)/Año, para cada uno de las distancias de siembra empleadas en los procesos de restauración ecológica en el Parque.

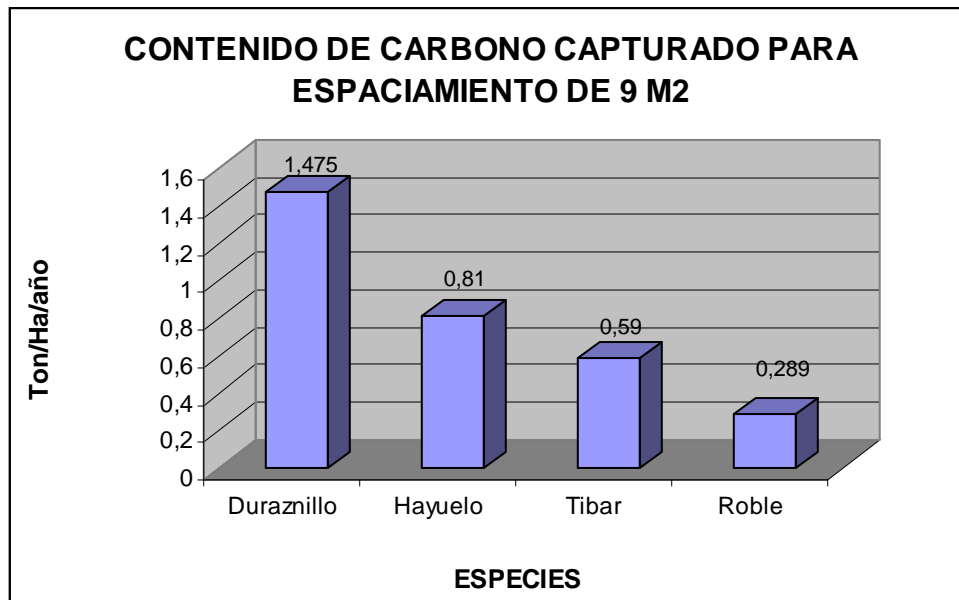
Tabla 4. Contenido de carbono en hojarasca seca, para un periodo de tres meses de monitoreo en el parque Ecológico la Poma.

ESPECIE	TOTAL gr/6sem	TnC/Ha/año (9 m² Esp)	TnC/Ha/año (12m² Esp)	kg./Ha/año
Duraznillo	2991,19	1.475	1.06	830,553
Hayuelo	1644,7	0.81	0.605	456,678
Tibar	1204,87	0.59	0.445	334,552
Roble	586,58	0.289	0.217	162,873

Fuente: Corporación Ambiental Empresarial

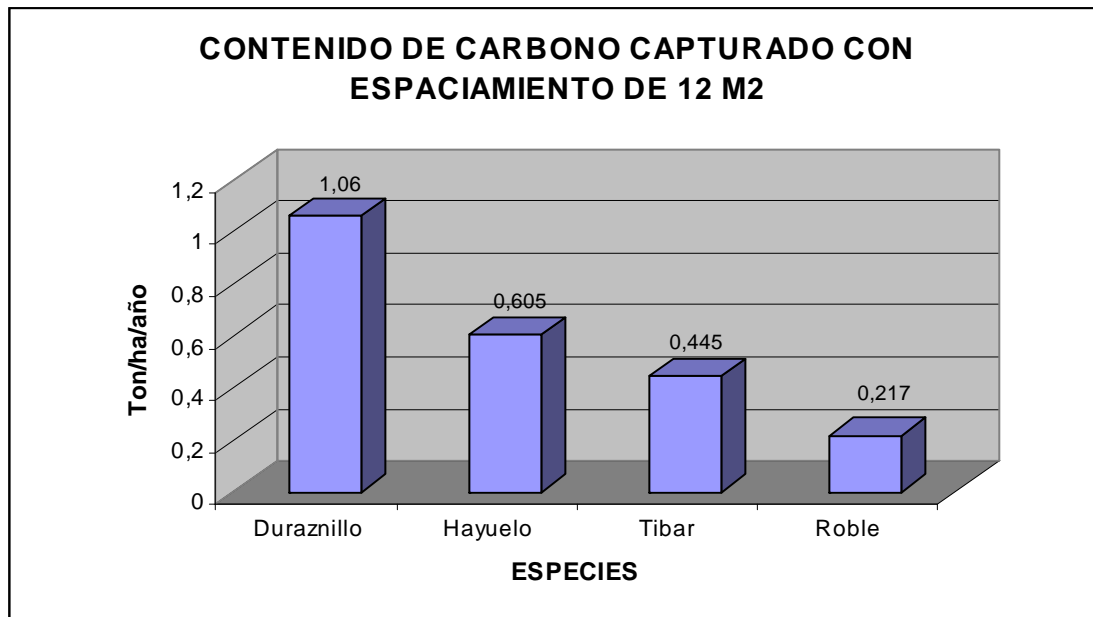
Se observa entonces, que la especie que presenta un mayor contenido de carbono en el Duraznillo (*Abatia parviflora*) con 1.475 TonC/Ha/Año, para un espaciamiento de 9m², es decir aproximadamente 1111 arboles por hectárea, así mismo, para el espaciamiento de 12 m², la cantidad de carbono estimada para la misma especie es de 1.06 TonC/Ha/Año, con 833 árboles por Ha aproximadamente, continuando en orden descendente el Hayuelo (*Dodoneae viscosa*) con 0.81 TonC/Ha/Año para 9 m² y 0.605 TonC/Ha/Año para 12 m², el Tibar con 0.59 TonC/Ha/Año para 9 m² y 0.445 TonC/Ha/Año para 12 m², siendo el ultimo el Roble (*Quercus humboldtii*) con 0.289 TonC/Ha/Año y 0.217 TonC/Ha/Año para 9m² y 12 m² respectivamente.

Figura 9. Contenido de carbono expresado en función del peso de la hojarasca seca (Para un espaciamiento de 9 m²).



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial

Figura 10. Contenido de carbono expresado en función del peso de la hojarasca seca. (Para un espaciamiento de 12 m²)



Fuente: Corporación Ambiental Empresarial

3.7 Análisis Matemático contenido de Carbono en la Hojarasca recolectada en el proceso de estudio.

Se toma el total de hojarasca de cada una de las especies evaluadas, que se recolecto en las 6 semanas en las cuales se llevo a cabo el monitoreo, este valor corresponde al peso seco de la hojarasca

Tabla 5. Hojarasca recolectada en el periodo de estudio

Especie evaluada	gr. Hojarasca total seca
Duraznillo	2991,19
Hayuelo	1644,7
roble	586,58
Tibar	1204,87

A continuación se realizara el calculo para la especie Duraznillo (*Abatia parviflora*).

$$\frac{2991,19}{6\text{semanas}} = 498,53\text{g} / \text{semana}$$

Para hallar la cantidad de gramos en un año, multiplicamos el valor hallado anteriormente por 48 que es el numero de semanas en un año:

$$498.53\text{g} / \text{semana} \times 48 = 23929.44\text{g} / \text{año}$$

Una vez se obtienen los gramos de hojarasca seca en un año, convertimos ese valor a kilogramos.

$$\frac{23929,44\text{g} / \text{año}}{1000\text{g}} = 23,92\text{kg} / \text{año} \quad \Rightarrow \quad \text{Este valor corresponde a los árboles evaluados en esta especie}$$

Ahora se halla el valor correspondiente a un árbol.

$$\frac{23.92\text{kg} / \text{año}}{9\text{Arboles}} = 2.6588\text{kg} / \text{año} / \text{arbol}$$

Ahora es necesario saber el valor correspondiente a 1 Ha, entonces se calcula el numero de árboles por Hectárea de acuerdo al espacio de siembra utilizado en el parque.

Para el espaciamiento de 12 m² \longrightarrow 833 árboles por Ha

Para el espaciamiento de 9 m² \longrightarrow 1111 árboles por Ha

$$2,6588\text{kg} / \text{año} / \text{arbol} \times 833 = 2214.81\text{kg} / \text{Ha} / \text{año} \longrightarrow 12 \text{ m}^2$$

$$2,6588\text{kg} / \text{año} / \text{arbol} \times 1111 = 2953.97\text{kg} / \text{Ha} / \text{año} \longrightarrow 9 \text{ m}^2$$

Ahora se pasan los Kg. a toneladas.

$$\frac{2214.81\text{kg} / \text{Ha} / \text{año}}{1000} = 2.21\text{ton} / \text{Ha} / \text{año} \longrightarrow 12 \text{ m}^2$$

$$\frac{2953.971\text{kg} / \text{Ha} / \text{año}}{1000} = 2.95\text{ton} / \text{Ha} / \text{año} \longrightarrow 9 \text{ m}^2$$

De acuerdo con la literatura, la mitad del peso seco de una muestra corresponde a carbono, por lo cual dividimos los valores anteriores en 2.

$$\frac{2.21\text{ton} / \text{Ha} / \text{año}}{2} = 1.06\text{ton} / \text{Ha} / \text{año} \longrightarrow 12 \text{ m}^2$$

$$\frac{2.95\text{ton} / \text{Ha} / \text{año}}{2} = 1.475\text{ton} / \text{Ha} / \text{año} \longrightarrow 9 \text{ m}^2$$

BIBLIOGRAFIA

- ANDREO, C y VALLEJOS R. Fotosíntesis. Washington D.C: Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la OEA, 1984. (?)p.
- BEAUMONT, Eduardo. El Protocolo de Kyoto y el Mecanismo para el Desarrollo en Limpio: Nuevas Posibilidades para el Sector Forestal en América Latina y El Caribe. Buenos Aires: Departamento de Montes de la FAO, 1999. 90 p.
- BROWN, Sandra. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. A Primer. Roma: FAO, 1997. 55 p.
- CIESLA, William. Cambio Climático, Bosques y Ordenación Forestal: una visión de conjunto. Roma: FAO, 1996. 150 p.
- CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL. Latifoliadas de Zona Alta. Bogotá D.C: CONIF – DNP, 1996, 68 p.
- DE LAS SALAS Gonzalo. Suelos y Ecosistemas Forestales con Énfasis en América Tropical. San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, (IICA), 1987. 447 p.
- HALL, D. y RAO, K. Fotosíntesis. Barcelona: Editorial Omega, 1983. 89 p.
- HESS, Dieter. Fisiología Vegetal: Fundamentos Moleculares y Bioquímicos - Fisiológicos del Metabolismo y el Desarrollo. Barcelona: Editorial Omega, 1980. 338 p.
- KOCH G, y MOONEY H. Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems. San Diego (EU): Academic Press, 1996. 443 p.
- LOPEZ A., et al. Cuantificación de carbono Almacenado en el Suelo de un Sistema Silvopastoril en la Zona Atlántica de Costa Rica. En : Agroforestería en las Américas. Costa Rica, 1999.
- LUDEVID, Manuel. El Cambio Global en el Medio Ambiente. México D.F: Grupo Editorial Alfa Omega, 1998. 332 p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Plan Estratégico para la Restauración y el Establecimiento de Bosques en Colombia (Plan Verde). Bogotá D.C:

- MINAMBIENTE, 1988. 81 p.
- ORREGO, Sergio et al. Ventas de Servicios Ambientales: Posibilidades y Limitaciones para el Departamento del Choco. Medellín: Fundación ESPAVE – IIAP, 1998. 26 p.
- REVELLE, Roger. Dióxido de Carbono y Clima Mundial. En: El Clima. Barcelona: Prensa Científica, 1991.
- RIVERA, Alicia. El Cambio Climático: El Calentamiento de la Tierra. Barcelona: Editorial Debate, 2000. 270 p.
- RODRIGUEZ, H. y GONZALEZ, F. Opciones para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia. Bogotá D.C: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras No 14, 2000. 260 p.
- SADOURNY, Robert. El Clima de la Tierra. Madrid: Editorial Debate, 1994. 126 p.
- SALATI, E. et al. Investing in Carbon Storage: a Review of Brazilian Forest Projects. En: Promoting Development while Limiting Gas Emissions. Nueva York: World Resources Institute - UNDP, 1999. p.
- SEGURA M., et al. Almacenamiento y Fijación de Carbono en Bosques de Bajura de la Zona Atlántica de Costa Rica. En: Revista Forestal Centroamericana. Turrialba (CR), 1999. p 23-28.
- SUBAK, Susan. Greenhouse emissions from Land Use Change and the Agricultural Sector in Colombia. En: Memorias del primer seminario nacional sobre cambio Climático. Bogotá D.C: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1994. p 57 - 65.
- SALISBURY, Frank. Fisiología Vegetal. Mexico D.F: Editorial Mc Graw Hill, 1994. 759 p.
- TOTTEN, Michael. Getting it Right: Emerging Markets for Storing carbon in Forests. Washington D.C: World Resources Institute (WRI)- Forests Trends, 1999. 48 p.