

**CAPTURA DE CARBONO EN LA ESPECIE (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg. EN
CONDICIONES DE BOSQUE SECUNDARIO ENRIQUECIDO CON ESPECIES
MADERABLES EN EL JARDIN BOTANICO TROPICAL AMAZONICO DEL MUNICIPIO
DE MOCOA**

**VIVIANA ERAZO CERON
MERCY JOHANA PORTILLO**

**INSTITUTO TECNOLOGICO DEL PUTUMAYO
INGENIERIA FORESTAL
TECNOLOGIA SANEAMIENTO AMBIENTAL
MOCOA ENERO 2018**

CAPTURA DE CARBONO EN LA ESPECIE (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg. EN
CONDICIONES DE BOSQUE SECUNDARIO ENRIQUECIDO CON ESPECIES
MADERABLES EN EL JARDIN BOTANICO TROPICAL AMAZONICO DEL MUNICIPIO
DE MOCOA

VIVIANA ERAZO CERON
MERCY JOHANA PORTILLO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Forestal y Tecnología en Saneamiento
Ambiental respectivamente

ASESOR
LUIS ALEXANDER ESCOBAR RAMIREZ
Especialista en Gerencia Ambiental

INSTITUTO TECNOLOGICO DEL PUTUMAYO
INGENIERIA FORESTAL
TECNOLOGIA SANEAMIENTO AMBIENTAL
MOCOA ENERO 2018

“Los conceptos, afirmaciones y opiniones contenidas en el presente trabajo son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, y no compromete al Instituto Tecnológico del Putumayo”.
(CIECYT)

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Mocoa, Enero 2018

Dedicatoria

Para la realización de este proyecto de grado fue posible gracias a Dios, que es quien nos concede el don de la vida y nos proporciona lo necesario para lograr nuestras metas.

A mis padres quienes me guiaron por buen camino, y con sus sabios consejos persistieron para que culminaran mis estudios.

A los profesores de las distintas aéreas quienes a través de sus conocimientos nos prepararon y capacitaron de la mejor manera para ser competitivos en el campo laboral, en especial al ingeniero Luis Alexander Escobar Ramírez, quien estuvo al frente de todo este trabajo y con su apoyo logramos que este proyecto se haga realidad.

VIVIANA ERAZO

Dedicatoria

Este proyecto de grado solo fue posible realizarlo gracias a Dios, quien me dio la oportunidad de vivir y poder superar los diferentes obstáculos que nos depara la vida, gracias a él no paso necesidad alguna y me concede lo necesario para poder vivir.

A mis padres, hermanos y amigos quienes me apoyaron y me guiaron cada momento en que los necesité y que siempre estuvieron en los tiempos difíciles.

A los diferentes profesores que me dieron cátedra en la distintas aéreas quienes fueron los que sembraron la semilla del conocimiento preparándonos para la vida profesional y para las distintas problemáticas que se nos presentan en el campo laboral, al Ingeniero Luis Alexander Escobar Ramírez, que fue el que nos infundo la responsabilidad y la virtud que proporciona el conocimiento y por ser nuestro asesor se logró la culminación de este trabajo.

MERCY JOHANA PORTILLO

	pág.
Introducción	19
1. Titulo	21
1.1. Formulación del problema	21
1.2 Descripción del problema	21
1.3. Justificación	22
1.4 Objetivos	24
1.4.1 Objetivo general	24
1.4.2 Objetivos específicos	24
1.5. Marco referencial	25
1.5.1 Estado del arte.	25
1.5.2 Antecedentes.	28
1.5.3 Marco teórico	30
1.5.3.1. El ciclo del carbono	30
1.5.3.2. Fijación de bióxido de carbono	31
1.5.3.3 El efecto invernadero	33
1.5.3.4 Flujos y almacenes de carbono en ecosistemas forestales	33
1.5.3.5 La biomasa	34
1.5.3.6 Factor de expansión de biomasa (FEB).	35
1.5.3.7 Relación raíz-fuste.	35
1.5.3.8 Descripción de la Especie (<i>Hevea brasiliensis</i>). Muell.Arg .	36
1.5.4 Marco legal.	37
1.5.5 Marco contextual del Jardín Botánico Tropical Amazónico	42
1.5.5.1 Localización del Jardín Botánico Tropical Amazónico.	42
1.5.5.2 Fisiografía	43
1.5.5.3 Hidrología	43
1.5.5.4 Climatología	43
1.5.5.5. Ecología.	43
1.5.5.6 Suelos	43
1.5.5.7. Fauna	44
1.5.5.8. Composición florística	44
1.6. Diseño metodológico	44
1.6.1 Localización de los árboles	45
1.6.2 Caracterización dendrométrica.	46
1.6.3 Selección de la muestra. .	46
1.6.4 Análisis estadístico descriptivo	48
1.6.5 Modelo de análisis e interpretación de datos	49
1.6.5.1 Cálculo de volumen	49
1.6.5.2 Cálculo de biomasa	49
1.6.5.3 Ajuste de la densidad de la madera	50

1.6.5.4 Conversión de volumen a biomasa.	52
1.6.5.5 Cálculo de biomasa total	52
1.6.5.6 Cálculo de carbono aéreo total	53
1.6.5.7 Cálculo de carbono radicular	53
1.6.5.8 Calculo de Biomasa de follaje	54
1.6.5.9 Calculo de biomasa de madera total comercial y no comercial incluyendo (Ramas y corteza).	54
1.6.5.10 Calculo de biomasa de corteza.	54
1.6.5.11 Cálculo de carbono total	55
1.6.5.12 Calculo de Bióxido de carbono	56
1.6.5.13. Coeficiente de forma según la fórmula de Schuberg y Schiffel	56
1.6.5.14 Procesamiento de datos.	56
1.7. Tipo de investigación	56
1.8 Hipótesis.	57
2. Resultados de la investigación	58
2.1 Cálculo de cociente de forma.	58
2.2 Tamaño de la muestra para análisis de carbono.	59
2.3 Variables calculadas en condiciones verdes y condiciones seca al aire y seca al horno	60
2.4 Densidad promedio de las diferentes partes constitutivas de los 5 árboles muestra en condición verde (V), seca al aire (SA) y seca al horno (SH).	64
2.5. Calculo de biomasa de los componentes constitutivos de cada árbol muestra	65
2.6 Calculo de biomasa y carbono total de 5 árboles de la especie (Hevea brassiliensis) Muell.Arg del Jardín Botánico Tropical Amazónico.	67
2.7 Calculo de biomasa y carbono total para la totalidad de árboles de Hevea brassiliensis distribuidos en un bosque enriquecido con especies maderables en el Jardín Botánico Tropical Amazónico	67
2.8 Cálculo de CO ₂ total fijado por los árboles de la especie Hevea brassilinsis. Muell. Arg	68
2.9 Clasificación diamétrica de la población de Hevea brassiliensis, Muell. Arg. localizada en el Jardín Botánico Tropical Amazónico	69
3. Conclusiones	73
4. Recomendaciones	75
Bibliografía	76
Anexos	79

	pág...
Cuadro 1: Planilla de campo, para recepcionar la información	47
Cuadro 2 Planilla Estadígrafos utilizados en el análisis estadístico	48
Cuadro.3. Calculo de volumen de corteza de 5 árboles muestreados de (<i>Hevea brasiliensis</i>).Muell. Arg.	55
Cuadro. 4. Cociente de forma de árboles de la especie (<i>Hevea braasiliensis</i>) Muell. Arg.	58
Cuadro 5. Calculo de variables en 5 árboles de la especie (<i>Hevea braasiliensis</i>) Muell. Arg	59
Cuadro 6. Relación entre DAP, altura comercial, altura total, volumen total y comercial de la especie (<i>Hevea braasiliensis</i>) Muell. Arg	59
Cuadro 7 Peso, volumen y densidad de las diferentes partes aéreas y radicular, en condición verde (<i>Hevea brassiliensis</i>)-	61
Cuadro 8. Peso, volumen y densidad de las diferentes partes aéreas y radicular, en condición Seca al Aire (<i>Hevea brasilienses</i>)	62
Cuadro 9. Peso, volumen y densidad de las diferentes partes aéreas y radicular, en condición Seca al Horno (<i>Hevea brasilienses</i>)	63
Cuadro 10. Densidad promedio de las diferentes partes constitutivas de los 5 árboles muestra en condición verde (V), seca al aire (SA) y seca al horno (SH).	64
Cuadro 11. Peso de la capa foliar verde-seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de <i>Hevea brassiliensis</i> . Muell. Arg.	65
Cuadro 12. Peso de la madera de fuste en condición verde, seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de <i>Hevea brassiliensis</i> . Muell.Arg.	65
Cuadro 13. Peso de la corteza en condición verde, seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de <i>Hevea brassiliensis</i> . Muell. Arg.	66
Cuadro 14. Peso de la Raíz en condición verde, seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de <i>Hevea brassiliensis</i> . Muell. Arg.	66
Cuadro 15. Calculo promedio de Biomasa y carbono de las diferentes partes constitutivas de cinco árboles de <i>Hevea brassiliensis</i> , Muell. Arg en el Jardín Botánico Tropical Amazónico.	67
Cuadro 16. Relación entre la biomasa, carbono y dióxido de carbono del promedio de los cinco árboles muestreados. (* 3.67 Factor derivado de le masa molecular del CO ₂)	69
Cuadro 17. Análisis de la distribución diamétricas de la especie (<i>Hevea brassiliensis</i>) Muell.Arg, plantados en el Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP	69
Cuadro 18. Análisis de varianza de la distribución diametrica de la especie (<i>Hevea brasiliensis</i>) Muell. Arg.	70

Lista de graficas

	pág.
Grafica 1. Ciclo del carbono	32
Grafica 2. Efecto invernadero	33
Grafica 3. Cociente de forma de árboles de la especie (<i>Hevea braasiliensis</i>) Muell. Arg.)	58
Grafica 4. Relación del DAP, altura comercial, altura total, Volumen comercial y total de la especie	60
Grafica 5. Promedio de la densidad de follaje, madera, raíz y corteza en condición (Verde, S.A y S.H) de los 5 árboles muestreados de <i>Hevea brassiliensis</i> . Muell Arg..	64
Grafica 6. Distribución diametrica de árboles de (<i>Hevea brassiliensis</i>) Muell.Arg plantados en el Jardín Botánico Tropical Amazónico	70
Grafica 7 Curva de distribución normal de las clases diametricas, del rodal de tara del Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP.	71

Lista de figuras

	pág.
Figura 1. Arbol de la especie (<i>Hevea brassiliensis</i>). Muell. Arg.	37
Figura 2. Secamiento de follaje al aire	50
Figura 3. Secamiento de follaje al horno	51
Figura 4. Obtención de muestras madera. Follaje y corteza	51
Figura 5. Pesaje de probetas de madera seca al aire	52
Figura 6. Horno de secado de maderas	
Figura 7. Balanza electrónica para pesar las diferentes muestras de los árboles	

Abreviaturas

GPS: Sistema de Posicionamiento geográfico

AB: Área basal

BT: Biomasa aérea total

BF: Biomasa de fuste

BA : Biomasa aérea

C.F: Coeficiente de forma

CO2: Dióxido de carbono

CCC: Certificados de captura de Carbono

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social.

DAP: Diámetro a la altura del pecho (1.30mts)

DC: Diámetro de copa

E.F: Espesor de follaje

FEB: Factor de expansión de biomasa

HCP: Altura De Copa

HC: Altura comercial

HT: Altura total

TON: Tonelada

VT: Volumen total

VC: Volumen comercial

MDL

Glosario

Abundancia: suele aplicar a la frecuencia de individuos de una determinada especie en una unidad espacial o biotopo previamente definida

Ahusamiento: estimar el diámetro del fuste a cualquier altura o encontrar la altura para un determinado diámetro, esto permite cubicar y calcular los productos a extraer. El fin de esta función es integrarla a un simulador de crecimiento y trozado.

Area basal: el área basal es al área en metros cuadrados

Biomasa: es aquel material orgánico biodegradable y no fosilizado originado de plantas, animales y microorganismos; incluye productos, subproductos, residuos y desechos de la agricultura, industrias afines.

Bosque tropical: también llamado selva húmeda. El bioma más complejo de la Tierra, caracterizado por una gran diversidad de especies, alta precipitación durante el año y temperaturas cálidas. Las precipitaciones pluviales pueden llegar a 100 mm en cuestión de minutos. El bosque de hoja ancha se mantiene verde durante todo el año.

Coefficiente de forma: se define como la relación entre el diámetro a una cierta altura y el DAP

Cociente absoluto de forma de Jhonson: definido como el diámetro a la mitad de la altura a partir de la altura del pecho dividido por el D.A.P.

Composición florística: tratándose de una comunidad vegetal, el detalle de las distintas especies que la constituyen.

Densidad: relación existente entre el número de individuos de una especie dada o una forma de crecimiento, y la superficie de un lugar.

Diámetro: línea recta que pasa por el centro del círculo y termina por ambos extremos en la circunferencia.

DAP: la medida más típica del diámetro de un árbol es el diámetro a la altura del pecho, que se representan abreviando con las letras DAP, dap; d.a.p, (en inglés d.b.h.). Con esta medida se trata de conocer el diámetro que tiene el fuste del árbol a la altura de 1.30 m. sobre el nivel del piso.

Factor de expansión de biomasa (FEB). El FEB es la proporción directa entre la biomasa aérea total (BT) y biomasa de fuste (BF).

Factor de forma: se define como la relación entre el volumen de un árbol o fuste al volumen de un sólido geométrico de las mismas dimensiones (diámetro y altura).

Funciones de ahusamiento: son modelos matemáticos que entregan el diámetro sin corteza a cualquier altura del fuste.

Longitud: posición relativa de un lugar con respecto al Meridiano de Greenwich (Inglaterra), medida en grados; puede ser este u oeste.

MDL forestales (Mecanismo de desarrollo limpio en la actividad forestal)

Latitud: Distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador, contada en grados de meridiano.

Resumen

La investigación se realizó direccionada hacia la obtención de indicadores sobre captura de carbono orgánico en la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg en la totalidad de sus diferentes componentes estructurales (hojas, raíz, corteza y madera),. La especie objeto del estudio se encuentra distribuida en un área boscosa de rastrojo perteneciente al Jardín Botánico Tropical Amazónico del Instituto Tecnológico del Putumayo, localizado en el municipio de Mocoa. La investigación requirió de varios análisis morfológicos, de propiedades físicas y de biomasa de la totalidad de los ejemplares plantados en dicho bosque, como también de los 5 ejemplares que fueron seleccionados como muestra para extraer las diferentes partes y a las cuales se le realizó el cálculo de biomasa y carbono retenido, utilizando un método no destructivo.

En los resultados se encontró notables diferencias entre ejemplares, por cuanto algunos ejemplares tienen una edad de más de 30 años y otros con edades de 17-20 años aproximadamente hubo la necesidad de hacer un análisis de varibilidad. Esta especie se seleccionó por tratarse de una especie de rápido crecimiento y por considerarse una especie con alto potencial para la industria del caucho, y además presenta una estructura fustal con alto contenido de madera y potencial de regenerar el follaje una o dos veces al año.

Par adelantar esta investigación se tomó como referencia parcial la metodología que tiene el gobierno peruano denominada "Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales" como también experiencias y conocimientos en el campo de la dendrometría, aplicadas en nuestro país, con lo cual se logró con éxito obtener datos de biomasa de follaje, madera comercial, madera no comercial (ramas), contenido de corteza, y del sistema radicular sin tener la necesidad de aprear los árboles. Se aplicó las técnicas de inventarios forestales, de dasometría, de dendrología, de propiedades físicas de la madera, estadística descriptiva, cálculo de variables como el coeficiente de forma, densidad de los diferentes componentes del árbol de (*Hevea brasiliensis*) en condición Verde, seca al aire y seca al horno, para lo cual no existe una metodología concreta e íntegra. Igualmente se tomó algunos indicadores obtenidos por el IPCC, producto de investigación es en varias regiones del mundo.

Palabras claves: Área Basal, Ahusamiento, Captura de carbono, Cociente de forma, Contaminación atmosférica. Georreferenciación, Volumen de Biomasa,

Summary

The research was conducted aimed at obtaining indicators on organic carbon capture in the species (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg in all its different structural components (leaves, root, bark and wood). The species object of the study is distributed in a wooded area of stubble belonging to the Amazon Tropical Botanical Garden of the Putumayo Technological Institute, located in the municipality of Mocoa. The research required several morphological, physical and biomass analysis of the total number of specimens planted in the forest, as well as the 5 specimens that were selected as samples to extract the different parts and to which the calculation was made. biomass and carbon retained, using a non-destructive method.

In the results, remarkable differences were found between specimens, since some specimens are over 30 years old and others with ages of approximately 17-20 years were the need to perform a variability analysis. This species was selected because it is a species of rapid growth and because it is considered a species with high potential for the rubber industry, and also has a fustal structure with high wood content and potential to regenerate the foliage once or twice a year.

To advance this research, the methodology used by the Peruvian government called "Guide for the determination of carbon in small rural properties" as well as experiences and knowledge in the field of dendrometry, applied in our country, was taken as a partial reference. succeeded in obtaining data on foliage biomass, commercial wood, non-commercial wood (branches), bark content, and root system without the need to dismantle the trees. The techniques of forest inventories, dasometry, dendrology, physical properties of the wood, descriptive statistics, calculation of variables such as the shape coefficient, density of the different components of the tree (*Hevea brasiliensis*) in green condition, dry, were applied. air and dried in the oven, for which there is no concrete methodology and integrates. It also took some indicators obtained by the IPCC, research product is in several regions of the world.

Keywords: Basal Area, Bias, Carbon sequestration, Shape quotient, Air pollution. Georeferencing, Biomass Volume,

Introducción

La contaminación atmosférica se debe en gran proporción a la presencia de CO₂ en la atmosfera, entre otras causas por la emisión de material particulado por combustión, y especialmente por la destrucción de las grandes masas forestales, que han sido afectadas por la falta de políticas de bosques, direccionadas a la conservación de los bosques naturales y al establecimiento de plantaciones, consideradas como sumideros del CO₂ atmosférico. Para el establecimiento de dichas plantaciones es necesario tener en cuenta la selección, a través del mejoramiento genético forestal, de las especies, poblaciones, familias e individuos que nos permitan, obtener los mayores beneficios (Alba, 2006)”.

Según. (Mendizabal, Landa, Suarez, 2009). Durante las últimas décadas, los países desarrollados se han interesado en el calentamiento global causado por el aumento de los gases que provocan el efecto invernadero en la Atmósfera. Este aumento se hace evidente desde el siglo XIX debido al crecimiento poblacional y uso de combustible fósil, uno de los gases más importantes que contribuyen al efecto invernadero es el CO₂, aunque también este compuesto es utilizado por las plantas en el proceso fotosintético, almacenando el carbono en su biomasa haciendo evidente que los bosques son grandes y activos sumideros para el CO₂ atmosférico.

El estudio se direccionó hacia la evaluación de la cantidad de carbono y bióxido de carbono almacenado en la biomasa de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell.Arg. conocida como caucho, en sus diferentes partes del árbol, follaje, tallos, ramas, raíces, que fueron plantados hace aproximadamente 22 años, como enriquecimiento de un bosque secundario, localizado en el Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP. Se trata de aproximadamente 60 ejemplares que fueron cultivados, anteriormente cuando el predio correspondía a la gobernación del Putumayo y se manejaba como una granja agrícola

Este bosque enriquecido con especies maderables, se encuentra actualmente bajo la administración del Instituto Tecnológico del Putumayo, con fines de investigación científica y

tecnológica, donde se realizará la investigación, considerada como un aporte a la cuantificación del carbono, de dicha especie, con una prospección hacia el mercado mundial del carbono.

Para el logro de los objetivos planteados se utilizó una metodología de cálculo indirecto, a partir de la biomasa obtenida en pie, sin destrucción del árbol, por tratarse de una especie cultivada para fines investigativos y que por lo tanto requieren de su conservación y que para su uso se deben cumplir con protocolos que implican un permiso para su destrucción total. Por otra parte, se tomaron solamente muestras de las diferentes partes del árbol como hojas ramas, tallos, corteza y raíces, de tal forma que no se perjudique fisiológicamente al árbol. "Se calculó la biomasa total, básica para el cálculo del carbono total incluyendo carbono aéreo y radicular utilizando la fórmula propuesta por (IPCC, 2003)".

Captura de carbono en la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. arg). en condiciones de bosque secundario enriquecido con especies maderables en el Jardín Botánico Tropical Amazónico del municipio de Mocoa

1.2. Formulación del problema

¿La biomasa de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell Arg, en condición de un bosque secundario enriquecido contribuye eficazmente como sumidero de CO₂, producido por la contaminación atmosférica en el Jardín Botánico Tropical Amazónico?

1.2 Descripción del problema

El bosque del Jardín Botánico Tropical Amazónico, con el transcurrir de los años, se ha alterado notablemente, con la paulatina desaparición de algunas especies, por tratarse de especies de segunda sucesión, que al pasar a transformarse en bosque maduro desaparecen, Otras especies desaparecen por efecto de plagas y deficiencias de nutrientes en el suelo al ser afectadas por no pertenecer a su hábitat, como el caso del tara (*Simarouba amara*), el Inchi (*Cariodendron orinocense*), que han evidenciado numerosas pérdidas de ejemplares por ataque de insectos y otras por posibles efectos de contaminación atmosférica producido por la combustión de fuentes móviles, que se deposita en dicho hábitat. El Jardín Botánico por sus características florísticas, fisiológicas, topográficos se ha constituido en un importante hábitat de varias especies de animales y vegetales que hacen aún más del sitio, un escenario potencial para desarrollar la recreación, el deporte y el ecoturismo para los habitantes del Municipio de Mocoa, y por falta de una biomasa exuberante y de gran potencial para capturar carbono y CO₂ pone en riesgo a este importante ecosistema, ya que la única forma de limpiar el CO₂ de la atmósfera es a través de la fotosíntesis.

Una gran proporción de los árboles que cumplen este proceso es realizada por arboles de la especie (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg. los cuales, por su abundante, denso follaje y por ser una especie caducifolia, captura y renueva constantemente su follaje, lo que la hace aún más importante para la investigación. Esta especie participa activamente, en la dinámica estructural del bosque, mediante procesos fisiológicos de la fotosíntesis. Las características fisiológicas, fenológicas y típicas de esta especie en condiciones de plantación, hacen que la estructura y la arquitectura foliar cumplan un papel fundamental en la captura de carbono, y que además por su excelente comportamiento fisiológico dichos arboles presentan un rápido crecimiento y aumento de biomasa, lo que los determina como una especie altamente potencial para retener carbono y propiciar condiciones ambientales favorables.

En el departamento del Putumayo existen pocas experiencias relacionadas a la captura de carbono en los bosques amazónicos, acentuándose aún más la escasez de información, lo que hace evidente el desconocimiento de indicadores de pérdida de biomasa en nuestro departamento, lo cual ha traído consecuencias graves de impactos ambientales negativos como sequías, descontrol hídrico, cambio climático y daños en el suelo, fragmentación de ecosistemas entre otros. No obstante, se requiere implementar procesos de investigación sobre la dinámica forestal especialmente de especies aptas para plantaciones como lo es la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg. como alternativa viable de aumento de la biomasa en los bosques del nuestro departamento.

1.3. Justificación

Durante las últimas décadas, con el desarrollo acelerado de muchos países, la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera ha aumentado ostensiblemente. Esto ha ocasionado como consecuencia un aumento en la temperatura ambiental de la tierra, que está ocasionando un cambio climático con alteraciones en los ciclos hídricos, sequías, inundaciones y más desastres naturales que comprometerían la supervivencia de la humanidad. Siendo el CO₂ el gas de mayor efecto invernadero, producido por el uso excesivo de combustibles fósiles y el

cambio en el uso del suelo, que se constituyen en los detonantes más importantes del cambio climático de nuestro planeta

En el ámbito Regional son escasos los antecedentes sobre captura de carbono de especies forestales, no obstante, existen algunos ajustes metodológicos para cálculo de biomasa, para ejemplares arbóreos, como los realizados en estudios de las especies de cobre y de barbasco, realizados en el Instituto Tecnológico del Putumayo, y por tanto en esta investigación se retomarán algunos criterios técnicos de dicha metodología.

Por otra parte, en el campo forestal, y más aun tratándose de especies arbóreas las investigaciones sobre cálculo de biomasa en términos de precisión, son escasos y tan solo se hacen inferencias a partir de métodos estocásticos que no corresponden a la verdadera biomasa individual de cada especie. Pero el problema se hace aún más complejo por cuanto se requiere aplicar métodos de muestreo para cálculo de biomasa a cada uno de los componentes arbóreos como son ramas, tallos, hojas, raíces, frutos, cortezas etc. y de cuya precisión depende que se conozca la biomasa real y esta sea transformada en términos de volumen de carbono.

Igualmente, el Protocolo de Kyoto y las subsecuentes Conferencias de las Partes (COP) de la Convención de Cambio Climático, hacen algunas reflexiones sobre el Cambio climático y además:

Según De Jong et al., 2004; Montoya et al., 1995, citado por Espinoza, Krishnamurthy, Vázquez-y Torres (2012). Una forma de mitigar los efectos con que el CO₂ atmosférico participa en el cambio climático es a través de la captura del carbono, mediante la fotosíntesis, y mantenerlo el mayor tiempo posible secuestrado, ya sea en el suelo o en forma de biomasa, la cual incluye todo tipo de vegetación y organismos animales. Mediante la fotosíntesis, la vegetación asimila CO₂ atmosférico, forma carbohidratos y aumenta su volumen. Por su parte, los bosques del mundo capturan y conservan una alta cantidad de carbono y participan con 90 % del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie terrestre (De Jong et al., 2004; Montoya et al., 1995).

En este contexto, se cuantificó la biomasa a la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg como fuente receptora de carbono, en un hábitat de un bosque enriquecido, con especies maderables, ubicada en el Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP, lo que implicó un gran reto de implementar y ajustar una metodología tendiente a valorar dicha biomasa forestal sin necesidad de talar los ejemplares seleccionados para la investigación.

En este orden de ideas, mediante esta investigación se dan las pautas mínimas y necesarias para poder adelantar más investigaciones pertinentes al caso que conlleven a la generación de beneficios del bosque como sumideros de CO₂ y conservación del stock del mismo, contenido en los bosques naturales, que finalmente conducen a la mitigación de los impactos ocasionados por el cambio climático, como un efecto de la tala de los bosques y la combustión de derivados de hidrocarburos especialmente.

2.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Cuantificar la biomasa y/o almacenamiento de carbono en los árboles de la especie (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg. Localizados en condiciones de un secundario enriquecido con especies maderables del Jardín Botánico Tropical Amazónico del Municipio de Mocoa,

1.4.2 Objetivos específicos

Determinar, y cuantificar, el carbono y bióxido de carbono en la biomasa, de la parte aérea y radicular de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell.Arg. en el Jardín Botánico Tropical Amazónico del municipio de Mocoa.

Determinar las características dendrológicas, dasométricas y el contenido de biomasa del componentes aéreo y radicular de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell.Arg. localizada en el Jardín Botánico Tropical Amazónico.

1.5. Marco referencial

1.5.1 Estado del arte. En el departamento del Putumayo, existe una escasa investigación sobre captura de carbono en ejemplares individuales de especies forestales maderables, que representan nuestros bosques y aún más de especies potencialmente comerciales y de gran valor ambiental para los ecosistemas de la región. Se desconoce el verdadero valor agregado que producen los bienes y servicios de nuestros bosques a tal punto que es difícil cuantificar y medir la dinámica forestal y la participación de la capacidad de carga de carbono de nuestros bosques en el ámbito nacional y mundial.

Sin embargo, se reportan estudios similares en otras regiones de Colombia y de América los cuales nos dan un referente del enfoque que tendrá este trabajo de investigación. Según Ramírez Juan (2009) Desde el punto de vista económico, la acumulación de carbono en el suelo genera tres tipos de valor: la disminución de las concentraciones de CO₂ atmosférico, el aumento en la productividad y la sostenibilidad causado por una mejora en la calidad del suelo, y otros beneficios ambientales relacionados con la calidad del suelo como, por ejemplo, el mejoramiento de la calidad del agua y la disminución de la erosión. De las emisiones generadas por el cambio en el uso de la tierra, alrededor del 60% proviene del carbono contenido en el suelo; en este sentido se ha logrado determinar que las técnicas convencionales de agricultura conllevan a la pérdida de entre el 50 y el 70% de Materia orgánica lo que trae como consecuencia la degradación y desertificación de los suelos

Según Cole (1997) citado por Lara (2008), ha estimado que mediante técnicas de manejo agrícola, que incluyen la labranza mínima, los cultivos de cobertura, el uso de abonos orgánicos, el manejo de la irrigación y los sistemas agroforestales, la cantidad de carbono capturado por el suelo puede incrementarse, en un intervalo comprendido entre 0.44 a 0.88 por año, a una escala global, y que esta tasa de captura puede ser mantenida durante 50 años.

Según Lara (2008) La captura de carbono en el suelo constituye una solución atractiva para la captura de CO₂, no obstante, presenta limitaciones que han retrasado su implementación como

sumidero de carbono y su negociación en el mercado internacional de emisiones de GEI¹, por parte de organismos privados y públicos. Estas limitaciones están relacionadas principalmente con la saturación y la permanencia del carbono en el suelo. La saturación implica que una vez se ha alcanzado una determinada concentración de MOS, continuar con el uso de una práctica específica de acumulación de carbono no produce ningún incremento en el contenido de MOS.² Sin embargo, y con relación a la permanencia, si se abandona la práctica de acumulación de carbono y se retorna a una práctica convencional, el suelo regresaría al equilibrio inicial liberando el carbono capturado. Adicionalmente, las metodologías para determinar el contenido de carbono en el suelo continúan siendo costosas, lo que se traduce en elevados costos de transacción.³

Okimori, Ogawa & Takahashi (2003) citado por Lara, señalan por ejemplo que, al cabo de un año el 53% del carbono acumulado en la biomasa sin ningún tratamiento y esparcida en el campo retorna a la atmósfera como CO₂. En contraposición, el CV es la fracción orgánica del suelo con mayor estabilidad y permanece en él por varios miles de años.

Arley I. Moreno, Zennia E. García, Harley Quinto & Yan A. Ramos. Citado por Lara, (2008) en su investigación sobre productividad primaria neta de raíces de un bosque pluvial tropical (bp-t) en Lloró, Chocó, Colombia afirma que las estimaciones de las existencias y tasas de captura de carbono de bosques son fundamentales para comprender el importante papel de estos ecosistemas en el cambio climático global. En el presente estudio se cuantificó la productividad primaria neta de raíces finas (≤ 5 mm de diámetro) y gruesas ($\geq 5 - 10$ mm de diámetro) en un bosque pluvial tropical en el municipio de Lloró, Chocó, Colombia. Para dicha finalidad se ubicaron dentro de una parcela permanente de investigación de una hectárea, doce unidades de muestreo de 5 x 5 m; distribuidas en suelos aluviales y de tierra firme. La producción de raíces registradas en el bosque pluvial tropical del CMUTCH fue de 2,66 toneladas/ha/semestre (equivalentes a 1,335 toneladas de carbono, dado que el 50% de biomasa es C). De dicho total, el 63% (1,67 ton/ha/6 meses) lo aportaron las raíces finas y el 37% (0,99 ton/ha/6 meses) las raíces

¹ GEI. Gases de efecto invernadero

² MOS. Materia orgánica del suelo

gruesas. Esta producción extrapolada al año equivale a 5,3 ton/ha/año. Podemos decir que este bosque presenta una alta productividad primaria neta subterránea y contribuye de forma positiva a la disminución del cambio climático global.

Camargo J.C , Arias L.M Rodríguez J.A & Dossman M.A resaltan la importancia de los bosques de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en la provisión de servicios ambientales y en la mitigación del cambio climático, se presentan resultados de investigación relacionados con la fijación de carbono y la protección del suelo dentro de bosques dominados por guadua en la zona cafetera de Colombia. Para este propósito se toman como referencia distintas investigaciones. En la primera, fueron desarrollados modelos de volumen y biomasa de los culmos en distintos estados de desarrollo. Para tal fin se utilizaron técnicas de regresión con información colectada en un inventario realizado mediante un muestreo estratificado en dos etapas. Dentro de cada parcela de muestreo fue medido también el carbono almacenado en el suelo. Finalmente, se obtuvieron valores de hasta 900 Tn/ ha de carbono total almacenado, los cuales variaron de acuerdo a las características de los bosques evaluados y del sitio. La segunda investigación consistió en la comparación de propiedades del suelo entre diferentes coberturas de la tierra incluyendo bosques de guadua. Los resultados mostraron que bajo bosques de guadua las condiciones de regulación hídrica y resistencia a la erosión tienden a ser mejores.

El Grupo de Investigación en Bosques y Cambio Climático de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín viene evaluando desde el año 1999 la dinámica del C en la vegetación y en el suelo, en función del estado sucesional en distintas coberturas vegetales: bosques primarios (BP), bosques secundarios (BS) y pastizales degradados (P), que rodean el embalse de la Central Hidroeléctrica Porce II, localizada en la cordillera Central de los Andes colombianos (Departamento de Antioquia). Para ello se realizaron seis censos en los BS y BP entre 1999 y 2006, así como un censo en los P en el año 2003. Para determinar las existencias del C del suelo se excavaron calicatas hasta 4 m de profundidad en las 3 coberturas y se muestreó el suelo en las 4 paredes de cada calicata a 14 profundidades. Ecuaciones no lineales se usaron para modelar el cambio en el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) entre los distintos tipos de

coberturas. Así mismo, con el objeto de interpretar las diferencias de COS⁴ entre coberturas en términos del balance entradas salidas, también se muestreó la caída de hojarasca, mortalidad de raíces y respiración heterotrófica del suelo en los mismos bosques primarios y secundarios.

Simon Correa, Alvaro J. Duque & Dairon Cárdenas. Citado por Lara (2008) afirman que el estudio del volumen y la biomasa en los ecosistemas boscosos es un asunto de gran relevancia para su conservación debido al desconocimiento del posible impacto del cambio global sobre estos ecosistemas. En el presente estudio, realizado en un bosque de tierra firme del PNN Amacayacu en la Amazonia colombiana, se generaron ecuaciones de volumen (V) y biomasa (B) para árboles en pie. Dentro de una parcela de 10-ha, se seleccionaron al azar 44 árboles (DAP > 10 cm) a los cuales se accedió hasta la primera rama usando técnicas de escalado. A cada uno de ellos se le midió el DAP y se tomó una muestra botánica para ser clasificada hasta género o especie. Desde la primera rama hasta el suelo, se midió la altura del fuste (HF) con una cinta métrica, y posteriormente once (11) diámetros a un décimo de altura cada uno y respectivamente hasta alcanzar el piso. Con un hipsómetro láser se midió la altura total (HT) del árbol. El volumen a HT se estimó usando la ecuación de Smalian. **El volumen de fuste desde la primera rama a la copa se asumió similar al volumen de un cono.** El volumen total (Vt) fue la suma de los dos anteriores. La biomasa fue calculada mediante la multiplicación del volumen total por la densidad de la madera, la cual fue obtenida de bases de datos disponibles en la literatura. Los modelos de Vt y B ajustados para este bosque, por medio del análisis de regresión fueron $\ln(Vt) = -9,18397 + 2,08783 \cdot \ln(DAP) + 0,605695 \cdot \ln(Ht)$ y $\ln(B) = -7,94061 + 2,15988 \cdot \ln(DAP)$, respectivamente. Con estos modelos será posible estimar la cantidad de Carbono almacenado por estos bosques, y hacia futuro, la tendencia del sistema en relación con las oscilaciones climáticas.

1.5.2 Antecedentes. La Unión Europea considera que, para evitar los efectos negativos que el cambio climático podría tener sobre nuestro modo de vida actual, la temperatura media global superficial de la Tierra no debería exceder en más de 2 °C a los niveles preindustriales. Este objetivo implica que la concentración de CO₂ en la atmósfera debería mantenerse por debajo de las 450 partes por millón en volumen (ppmv).

⁴ COS. Contenido de materia orgánica del suelo.

La Captura y Almacenamiento de CO₂ (CAC) se ha identificado como una tecnología clave para la reducción de las emisiones en los sectores eléctricos e industrial en el medio plazo y su desarrollo está recibiendo un importante apoyo por parte de un buen número de países y, especialmente, por la Unión Europea. Prueba de ello es la decisión tomada por la Comisión Europea de financiar a partir de 2009 acciones iniciales para poner en marcha 6 proyectos de demostración de las tecnologías CAC⁵ en Europa aplicadas al sector eléctrico. Uno de estos proyectos se está realizando en España con el concurso de Endesa y la Fundación Ciudad de la Energía

Por otra parte, en Colombia, la autoridad nacional designada para la aprobación de los Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, es el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. El desarrollo de las líneas de acción para promover la ejecución de actividades de mitigación mediante proyectos de reducción y captura de gases de efecto invernadero se hace por medio de la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático, creada en 2002 y adscrita al MAVDT. En la actualidad el número de MDL forestales (Mecanismo de desarrollo limpio en la actividad forestal) registrados ha aumentado en un 50%, con un total de 12 proyectos en el protocolo proporcionado por la Oficina para la Mitigación del Cambio Climático al finalizar el año 2007.

En Colombia con el Renacimiento del proyecto de la Orinoquía, pretende manejar 106.641 hectáreas, con las que se pretende capturar 30.100.452 toneladas de CO₂e en diferentes periodos de tiempo, sin tener en cuenta la proyección del proyecto de la CAM, para el que no se presenta la estimación.

Para el caso colombiano, es relevante la participación del Banco Mundial en el mercado de carbono, actuando en diferentes etapas del negocio que van desde ser proponente por medio de institutos de investigación adscritos al Banco (CIAT), hasta la compra de las reducciones. 3 de los proyectos del portafolio tienen negociaciones reportadas con el Banco Mundial, entre ellos PROCUENCA, San Nicolás y CIAT-CVS-CORPOICA; habiendo firmado parte de sus

⁵ CAC. Captura y almacenamiento de carbono.

reducciones con el Banco Mundial y/o recibiendo financiación del banco a través del fondo Biocarbon. CENSAT, 2008; MAVDT, 2007 y PROCUENCA a, 2006⁶

El Banco Mundial, los gobiernos de países industrializados y las empresas responsables históricas del cambio climático han encontrado en el mercado de carbono una fuente importante de enriquecimiento; para el caso puntual del Banco Mundial una de las formas en que se materializa la acumulación es por medio del fondo Biocarbon, que financia proyectos MDL a través de la compra a bajo precio de certificados temporales de reducción de emisiones tCERs, que posteriormente vende en el mercado a precios internacionales (CENSAT, 2008).

En el ámbito regional, más precisamente en el sector urbano de Mocoa departamento del putumayo, por primera vez se registran datos importantes sobre captura de carbono y bióxido de carbono en la especie *Apuleia leiocarpa*, realizado por estudiantes del Instituto tecnológico del Putumayo (Gallego.2013).

En el Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP, se realizó en 2013 un estudio de investigación como trabajo de grado, denominado “Captura de carbono en la especie (*Minquartia guianensis*, aublet) y la relación altura y diámetro en condiciones de bosque enriquecido con especies maderables en el Jardín Botánico Tropical Amazónico del municipio de Mocoa” Correspondiente a los estudiantes Julián Triviño Montes y Wesley Hans Ordoñez Mosquera.

1.5.3 Marco teórico. Se hizo una recopilación selectiva de los principales aspectos relacionados a la investigación sobre captura de carbono.

1.5.3.1. El ciclo del carbono. El ciclo del carbono es uno de los procesos naturales más abundantes e importantes y sobre el cual se realizan los procesos de la fotosíntesis y de renovación de biomasa en nuestro planeta.

Según Ordoñez (1999) citado por Zamora (2003). El ciclo funciona básicamente a través de la fotosíntesis, la respiración, las emisiones por quema de combustibles fósiles y fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, en la figura 1, se muestra su representación. Afirma que, el ciclo del carbono es el responsable de la cantidad de CO₂ contenido en la atmósfera, ya que es el mecanismo que equilibra las cantidades de carbono presentes en los diferentes reservorios o almacenes de carbono en el planeta. Como consecuencia se establece todo un balance de carbono a través de procesos fijadores/almacenadores de carbono y otros que a su vez lo emiten.

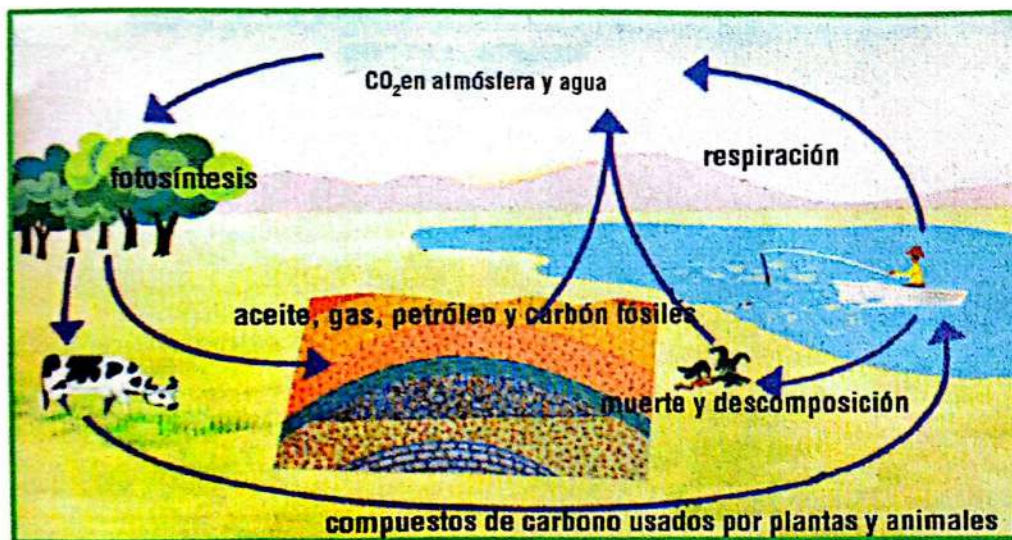
Oliva y García (1998), afirman que, en los ecosistemas terrestres, la vía más importante del flujo de carbono atmosférico a la vegetación y el suelo es biológica, por medio de la fotosíntesis y la descomposición, respectivamente. Este flujo involucra muchos procesos interactuantes, los cuales mantienen el equilibrio dinámico del intercambio de gases atmósfera planta suelo. La deforestación puede afectar este equilibrio dinámico de intercambio de gases, por lo que es muy importante conocer cuáles son los mecanismos que lo controlan

1.5.3.2. Fijación de bióxido de carbono. Montoya (1995), afirma que, a través de la fotosíntesis, la vegetación asimila CO₂ atmosférico, forma carbohidratos y gana volumen. Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% del flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Montoya (1995) y Ordoñez, (1999), citado por Zamora (2003), describen que, con el manejo forestal es posible compensar las crecientes emisiones de CO₂ en dos formas. a) Creando nuevos reservorios de bióxido de carbono. Restaurando las áreas degradadas por medio de plantaciones y/o regeneración natural, y por la extracción de madera. Los sistemas forestales y agroforestales pueden capturar en sus diferentes almacenes de 80 a 350 toneladas de carbono por hectárea) Protección de bosques y suelos. Con la destrucción del bosque se pueden liberar a la atmósfera de 50 a 400 toneladas de carbono por hectárea. Mencionan que “. Mientras la protección de un área forestal puede inducir a la presión de otra, el manejo integrado de recursos enriquecido con esquemas de evaluación de proyectos es requeridos para validar dicha protección. “no obstante, los aspectos técnicos pierden su efectividad si no participa la

población, es decir, tanto los dueños de los recursos como los que consumen los productos derivados del bosque.

Por otra parte, Oliva y García-Oliva (1998), mencionados por Zamora (2003) dice que la incorporación del C al ciclo biológico se da por medio de la fotosíntesis que produce energía bioquímica para los procesos fisiológicos y de formación de materia biológica (biomasa) a partir del CO₂, energía radiante y nutrientes. El CO₂ es tomado directamente de la atmósfera y su asimilación por la planta es conocida como fotosíntesis gruesa. Pero no todo el CO₂ asimilado es transformado a biomasa, sino que una parte es regresada a la atmósfera por medio de la respiración que se lleva a cabo durante los procesos fisiológicos

Grafica 1. Ciclo del carbono



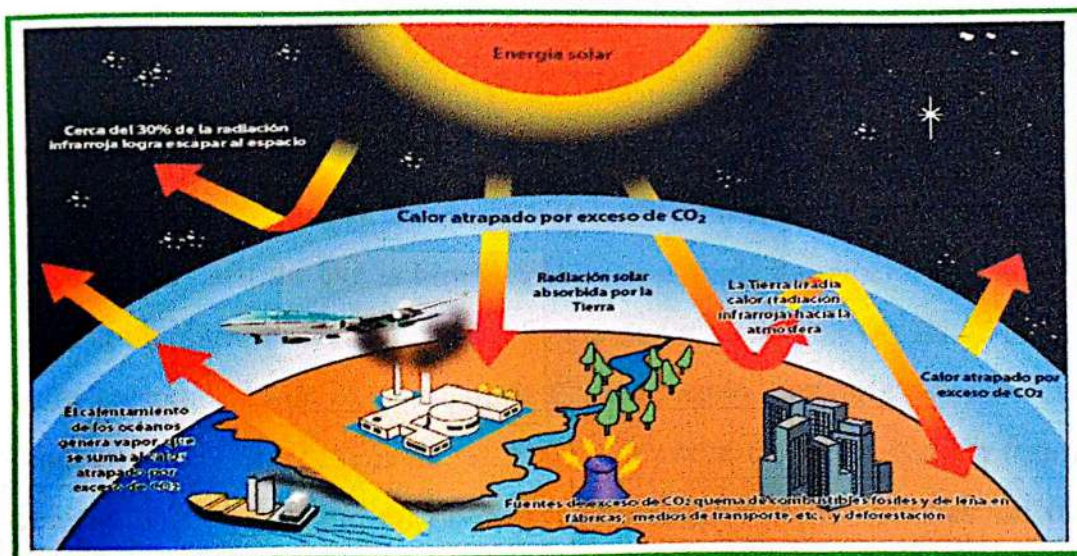
Fuente: <http://dakertcom.blogspot.com.co/2011/05/ciclo-del-carbono.html>

Castellanos y col. (1991), mencionados por Zamora (2003) afirma que el carbono fijado por las plantas se transforma en moléculas móviles, que se asignan a las diferentes estructuras de la planta para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales. Esta asignación determina las rutas por las cuales se dará posteriormente el flujo de C al suelo. Cada especie de planta asignará más o menos C para producir biomasa en la parte aérea o en la parte subterránea. Por ejemplo, la biomasa subterránea en la selva estacional representa entre 40 y 50 % de la biomasa total,

mientras que, en el bosque templado y la selva húmeda, la biomasa subterránea representa menos del 15%.

1.5.3.3 El efecto invernadero. Salati (1990), dice El efecto invernadero se debe a que ciertos gases en la atmósfera permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras que absorben y reemiten parte de la radiación infrarroja que el planeta emite de regreso al espacio exterior. Cuanto mayor es la concentración de los gases de invernadero, menor es la cantidad de radiación infrarroja que el planeta emite libremente al espacio exterior. De esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen a que se eleve la temperatura superficial del planeta.

Grafica 2. Efecto invernadero



Fuente: <http://campus.almagro.ort.edu.ar/cienciassociales/articulo/640319/calentamiento-global-y-efecto-invernadero>

1.5.3.4 Flujos y almacenes de carbono en ecosistemas forestales IPCC, (1995); Lashof y Ahuja, (1990); Mintzer, (1992) y Dixon y col. (1994), citados por Zamora (2003) mencionan que: el panorama actual del incremento de CO₂ atmosférico y la tendencia a que pueda aumentar más la tasa de emisión neta es desalentador. Sin embargo, afortunadamente es posible reducir dichas emisiones a la atmósfera por medio del ciclo biológico conocido como el ciclo del carbono. Estimar con precisión la dinámica de los flujos netos de carbono entre los bosques y la

atmósfera (es decir, el balance emisión-captura) es uno de los problemas abiertos más importantes en la discusión sobre cambio climático.

1.5.3.5 La biomasa. “Es aquel material orgánico biodegradable y no fosilizado originado de plantas, animales y microorganismos; (Salinas & Hernández, 2008) :(Brown, 1997) y ;(FAO, 1998).la biomasa incluye productos, subproductos, residuos y desechos de la agricultura, forestaría e industrias afines, así como las fracciones orgánicas y no fosilizadas de los desechos industriales y municipales. La biomasa también incluye los gases y líquidos recuperados de la descomposición de materiales orgánicos biodegradables y no fosilizados La biomasa arbórea es la cantidad total de materia orgánica viva de la parte aérea de los árboles (hojas, ramas, tronco, corteza) expresada en t de peso seco al horno/unidad de área (árbol, ha, región, país); es la cantidad de C almacenado en el bosque. La biomasa en un bosque es el resultado de la diferencia entre la producción a través de la fotosíntesis y el consumo por la respiración, y procesos de cosecha

Por otra parte, según el Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. IPCC (2002) afirma que la biomasa forestal cumple un papel importante en el cambio climático, sirve como sumidero y a la vez es fuente de los GEI. Con el cálculo de la biomasa se obtiene un valor aproximado de la cantidad de C almacenado, porque existe una estrecha relación entre la biomasa y el C (2:1) (Ciesla, 1996). La fracción de carbono de la biomasa tiene un valor por defecto de 0,5; aunque en niveles metodológicos superiores hay un margen de variación en función de las especies, de los componentes de un árbol o de un rodal (tallo, raíces y hojas) y de la edad del rodal

Según FONSECA, W.; ALICE, F.; REY, J. M. 2009 existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa. El método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente. Para la determinación indirecta se utilizan métodos de cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad

específica. Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, que utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho, la altura comercial y total, el crecimiento dimétrico, el área basal y la densidad específica de la madera

Según Salinas & Hernández (2008) son importantes la biomasa aérea total del fuste: Biomasa aérea total (BT), se refiere al peso seco de material vegetal del árbol sobre el suelo, incluyendo fuste, corteza, ramas y hojas. Biomasa de fuste (BF), se refiere al peso seco del fuste. Corresponde a la biomasa del fuste comercial del árbol, desde el tocón hasta la primera bifurcación o inicio de la copa.

1.5.3.6 Factor de expansión de biomasa (FEB). El FEB es la proporción directa entre la biomasa aérea total (BT) y biomasa de fuste (BF). Así lo confirma Salinas y Hernández (2008) Se trata de un factor variable que depende de la especie arbórea, las condiciones ambientales, la densidad de plantación, el tipo de bosque y la edad de los individuos, entre otros aspectos. Este factor se utiliza para estimar la biomasa total de un árbol cuando únicamente se cuenta con datos de biomasa del fuste. Miranda; Borgo; Tiepolo; Ferretti; calmo Higa; (2006). Es un factor de multiplicación que aumenta la madera en pie, o el volumen de recolección comercial de rollizos, o los datos de incremento del volumen de madera en pie, para tener en cuenta componentes de biomasa no vendibles, como ramas, follaje y árboles no comerciales

En el manual del IPCC (2003) se muestran los valores por defecto de los FEB. Estos valores son aplicables a la biomasa de madera en pie (peso seco), incluida la corteza, para un diámetro mínimo a la altura del pecho; el diámetro superior mínimo y el tratamiento de las ramas no están especificados. El resultado representa biomasa arbórea sobre el suelo.

1.5.3.7 Relación raíz-fuste. Existen métodos para cálculo de biomasa, unos mediante destrucción del árbol, considerado como método directo y otros mediante métodos indirectos donde no se hace destrucción total, tal como lo mencionan Nadler, Meza, Torres, Jara (2001) e (IPCC) (2003) La medición directa en raíces o muestreo destructivo se realiza con excavadora,

palas y picota, los trozos de raíces se lavan y pesan para luego medir el carbono almacenado; pero determinar la biomasa radicular es un proceso muy costoso, ésta se estima como un porcentaje de la biomasa arbórea sobre el suelo. En algunas investigaciones se determinan la biomasa radicular gruesa de especies importantes, lo que sirve para tener mejores estimaciones del carbono total del ecosistema en ciertos tipos de bosques

MacDicken (1997) menciona que en caso de no tener estimaciones de biomasa radicular, se utilizará un porcentaje mínimo de 15% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea, que es una estimación conservadora. Por otro lado, según Cairns et al. (1997), hay valores de razón R/T (raíz/tallo) para distintos lugares del mundo entre 0,20 y 0,30; es decir, 20 a 30% de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea.

Para evitar el muestreo destructivo se recurre a los valores por defecto de las relaciones raíz-tallo, éstos valores se utilizarse para estimar la biomasa bajo el suelo. Para un bosque húmedo subtropical la relación media entre biomasa bajo el suelo y sobre el suelo es 0,24. (IPCC.2003)

1.5.3.8 Descripción de la Especie (*Hevea brasiliensis*). Muell.Arg . Segun ZHANG, J., HUSS, V.A.R., SUN, X., CHANG, K. & PAN, D.2008. Citado en [https:// es.wikipedia.org/ wiki/ Hevea brasiliensis](https://es.wikipedia.org/wiki/Hevea_brasiliensis). La especie (*Hevea brasiliensis*), Muell. Arg. llamado comúnmente árbol del caucho, siringa o seringueira (del portugués), es un árbol de la familia de las euforbiáceas de 20 a 30 m de altura (excepcionalmente 45 m). El tronco es recto y cilíndrico de 30 a 60 cm de diámetro, de madera blanca y liviana. Sus hojas son compuestas trifoliadas, alternas, de 16 cm de longitud, por 6 a 7 cm de ancho; deja caer parcialmente las hojas durante la estación seca, antes de lo cual las hojas de la copa del árbol se tornan de color rojizo. Las flores son pequeñas y reunidas en amplias panículas. Frutos: produce desde los 4 años, cada uno de los cuales es una gran cápsula de 4 cm de diámetro que se abre en valvas, con semillas ricas en aceite.

Su látex es blanco o amarillento y abundante hasta los 25 años de edad del árbol. De él se fabrica el caucho, después de "sangrar" el tronco mediante incisiones angulares en V. Este látex contiene 30 a 36% de hidrocarburo del caucho, 0,5% de cenizas, 1,5% de proteínas, 2% de resina

y 0,5% de quebrachitol. El caucho también puede obtenerse del látex de otros árboles del género *Hevea* (v.g. *H. guianensis* Aubl. 1775 y *H. pauciflora* Müll.Arg. 1865).

Figura. 1. Arbol de la especie (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg.



Fuente: Las autoras

Este árbol es originario de la cuenca hidrográfica del río Amazonas, donde existía en abundancia y con exclusividad, características que generaron el auge o fiebre del caucho, periodo de la historia sudamericana de mucha riqueza y pujanza para empresarios que se asentaron en la región amazónica y a la vez de desastre para la población indígena que sufrió exterminios y esclavitud, hasta que los ingleses se apoderaron del lucrativo negocio, al sacar el botánico Henry A. Wickham ilegalmente de Brasil semillas de este árbol, en 1876, para establecer plantaciones en Malasia, Birmania, Ceilán y África subsahariana. Hacia 1914 la cantidad de caucho obtenido de plantaciones ya superaba la extraída de árboles silvestres.

1.5.4 Marco legal.

Convención marco sobre cambio climático (UNFCCC), celebrada en 1992 (ONU) en donde se establecieron los principios de actuación que aplicarían los países miembros para la reducción de misiones liberadas a la atmósfera. Para hacer efectivas las obligaciones de las partes en 1997 fue aplicado en **PROTOCOLO DE KIOTO** (1997) en el que se acordó una meta de producción

de emisiones por parte de los países industrializados. Para el cumplimiento de la meta de reducción fueron aplicados tres mecanismos de flexibilidad, dentro de los cuales se consideraba los mecanismos de Desarrollo limpio, para la expedición de reducciones certificadas de emisiones, de proyectos de reducción o de captura de emisiones.

Mercados voluntarios de carbono (MVC). Son mecanismos de reducción y captura de carbono no regulados por los instrumentos jurídicos internacionales y nacionales los cuales no solo están motivados por las obligaciones de los países que firmaron el protocolo de KIOTO, sino en aspectos sociales de Responsabilidad social, y aceptación de las organizaciones en el escenario internacional.

Modelos de desarrollo limpio (MDL). Con la aprobación del protocolo de Kioto en 1977, se da origen al mecanismo de desarrollo limpio, como medida para que países industrializados puedan adquirir reducciones certificadas de emisiones (CER), resultantes de proyectos de reducción o captura por las fuentes realizados en países en desarrollo. Aquí existe un doble compromiso: Los países desarrollados se comprometen a reducir las cuotas de emisiones, mientras que los países en desarrollo se comprometen a generar condiciones favorables para la implementación de estas actividades en sus territorios. Para la aprobación de proyectos que generan certificados de emisiones CER deben cumplir tres condiciones; Demostrar que la reducción de misiones debe ser adicional a cualquiera que ocurriría en ausencia del proyecto; demostrar la permanencia de las reducciones de emisiones, y tercero contribuir al desarrollo sostenible.

Constitución Política de Colombia. Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la

... ARTICULO 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.(...)

Ley 629 de 2000"Por medio del cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1.997

Proyecto de acuerdo. (Consejo de Bogotá D.C)."Por el cual se implementan, promueven y estimulan las tecnologías de creación de techos verdes en Bogotá, D.C. y se dictan otras disposiciones. -ARTICULO 2°. Las entidades públicas del orden distrital que implementen y desarrollen tecnologías de techos verdes en sus nuevas edificaciones, podrán para efectos de financiación y recuperación de la inversión realizada en los techos verdes, aplicar a la venta de certificados de captura de carbono (CCC) o convenir su financiación con entidades vinculadas al protocolo de Kyoto y al Desarrollo urbano sustentable. ARTICULO 3°.Las Secretarías Distritales de Hábitat, Ambiente y el Jardín Botánico José celestino Mutis, prestaran la asesoría y el soporte técnico necesario sobre las diversas especies orgánicas, vegetales recomendables, nutrientes y mantenimiento de los techos verdes, según las tipologías de suelos y construcción y realizarán mediciones de los beneficios obtenidos para su cuantificación económica y social y ambiental con miras a obtener la certificación y venta de certificados de captura de Carbono (CCC).

Decreto Nacional 895 de 2008. Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 2331 de 2007 sobre uso racional y eficiente de energía eléctrica. Mediante este decreto se acoge a los lineamientos del Protocolo de Carbono Neutral para obtener la certificación de "Carbono Cero", ante el grupo consultivo para este Protocolo el cual se encuentra conformado por varias Organizaciones no Gubernamentales del mundo. Fue registrada en 1990, se concede a un producto, servicio o actividad que ha realizado y presentado en el Protocolo Carbono Neutral"⁴ y se obtiene realizando acciones importantes exigidas por el Protocolo Carbono Neutral como es la

siembra de árboles que tienen una altísima capacidad de capturar carbono (CO₂), medida que permite compensar de esta manera las emisiones de gases que produce la contaminación atmosférica. Para la obtención de esta certificación se debe dar cumplimiento a requisitos tales como:

1. Realizar una evaluación de GEI para establecer la línea de base de las emisiones de CO₂.
2. Identificar los costos para la reducción de GEI.
3. Identificar los esquemas globales de compensaciones de carbono para balancear las emisiones restantes.
4. Usar las compensaciones de carbono para balancear algunas ó todas las emisiones restantes.
5. Sello Carbono Neutral emisiones cero

Ley 164 de 1994. "Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático", hecha en New York el 9 de marzo de 1992" Colombia aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMNUCC, mediante la expedición de la Ley, con el ánimo de buscar alternativas que le permitieran adelantar acciones para abordar la problemática del cambio climático. La ratificación de este instrumento implica el cumplimiento por parte de Colombia de los compromisos adquiridos, de acuerdo al principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas y en consideración al carácter específico de sus prioridades nacionales de desarrollo.

Ley 629. En el año 2000 Colombia aprueba el protocolo de Kyoto mediante , y en ese mismo año el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT- coordinó la elaboración de un Estudio de Estrategia Nacional para la implementación de los Mecanismo de Desarrollo Limpio –MDL- en Colombia que tenía por objetivos evaluar el potencial de Colombia frente al nuevo mercado, identificar las restricciones y desarrollar estrategias para superarlas, así como para promover los beneficios potenciales para el país. En el año 2001 Colombia presenta la Primera Comunicación Nacional de Colombia ante la CMNUCC, publicación coordinada por el IDEAM que analizó los primeros avances en posibles medidas de adaptación y el inventario nacional de GEI para los años 1990 y 1994.

Lineamientos de política de cambio climático Protocolo de Kyoto Primera comunicación nacional sobre cambio climático Posteriormente en el año 2002, el Ministerio del Medio Ambiente y el Departamento Nacional de Planeación, elaboraron a nivel global, los lineamientos que esbozaban las principales estrategias para la mitigación y adaptación al fenómeno en el marco de la CMNUCC.

En este mismo año es creada la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático designada para ser el ente promotor e impulsador de todos los proyectos MDL que surgieran en Colombia, favoreciendo la consolidación de proyectos competitivos y eficientemente económicos que pudieran ser transados en el mercado mundial de la Reducción de emisiones CO2.

CONPES 3242 “Estrategia Nacional para la venta de servicios ambientales de mitigación de cambio climático” En el año 2003 se lanza el CONPES 3242, el cual complementa el trabajo ya adelantado y generó los lineamientos esenciales para la introducción de los proyectos MDL dentro de las medidas de mitigación en el contexto nacional.

En el 2004 el MAVDT expide las resoluciones No. 0453 y No. 0454. La primera tiene por objetivo adoptar principios, requisitos y criterios y establecer el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al MDL. La segunda, tiene por objetivo regular el funcionamiento del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación del Cambio Climático del Consejo Nacional Ambiental.

Resolución NO. 0453 En la el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial es designado como la Autoridad Nacional para el Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL, mediante la nota consular del 22 de mayo de 2002, radicada DM/VAM/CAA 19335 del Ministerio de Relaciones Exteriores, dirigida a la secretaria de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Resolución no. 0454 Mediante la del 27 de abril de 2004, se regula el funcionamiento del Comité Técnico Intersectorial de Mitigación del Cambio Climático del Consejo Nacional Ambiental. Entre las funciones asignadas al Consejo Nacional Ambiental, se encuentra la de designar comités técnicos intersectoriales en los que participen funcionarios de nivel técnico de las entidades que correspondan, para adelantar tareas de coordinación y seguimiento. Actualmente se está realizando el proceso de formulación y definición de la Política de Cambio Climático nacional, mediante un documento CONPES.

Documento Conpes 2834 de 1996. El Ministerio del Medio Ambiente en coordinación con el Departamento Nacional de Planeación (DNP) adelantó durante el año 1995 un intenso proceso de discusión y concertación con entidades y actores públicos y privados en los niveles nacional y regional, con el objeto de formular la “Política de Bosques” que se somete a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES).

Se aprueba entonces el documento **CONPES No. 2750 de 1994** sobre Política Ambiental. Dentro de las acciones de mejoramiento ambiental previstas tanto en *El Salto Social* como en el CONPES 2750, se incluye el programa “Más Bosques”, en el cual se señalan las líneas generales que deben orientar la acción del gobierno nacional en materia forestal.

1.5.5 Marco contextual del Jardín Botánico Tropical Amazónico. Hace referencia especialmente a la localización, características bióticas y físicas del sitio donde se realizó la investigación.

1.5.5.1 Localización del Jardín Botánico Tropical Amazónico. El Jardín Botánico Tropical Amazónico se encuentra ubicado en la zona Sur Oriental a tres (3) kilómetros del municipio de Mocoa, vía principal que conduce a la ciudad de Villagarzón, en la vereda Caliyaco, sobre la pendiente de la cordillera Andina, posee un área de 19.7 has y corresponde a zonas de colinas altas y bajas, con terrazas fuertemente disectadas, con pendientes que oscilan entre el 10 y 50%, se encuentra entre las siguientes coordenadas:

Norte Latitud 010 07 17 N y Longitud 76° 38 10 W

Sur Latitud 01° 07 05 N y Longitud 76° 38 03 W

Oriente Latitud 01° 07 17 N y Longitud 76° 37 11 W

Occidente Latitud 010 07 14 N y Longitud 76° 38 11 W

1.5.5.2 Fisiografía. El Jardín Botánico Tropical Amazónico, hace parte de la gran llanura amazónica en la cual en este sector se encuentran diferentes ciclos orogénicos que levantaron los andes; en este pie de monte afloran rocas de origen ígneo, metamórficas o sedimentarias, posee buen drenaje, pero con mucha susceptibilidad a la erosión.

1.5.5.3 Hidrología. Cuenta con tres cursos de agua representados por el río Mocoa y dos fuentes de agua que nace en el predio (yacimientos naturales de escaso caudal); el río Mocoa bordea la parte oriental del Jardín.

1.5.5.4 Climatología. Temperatura: 23.3° C. Precipitación 4.250 mm/año. Brillo Solar:954 horas/año, Altitud:530 m.s.n.m. Zona de vida: Bosque húmedo Tropical (bh — T)

1.5.5.5. Ecología. Presenta una vegetación abundante, exuberante y densa, con gran diversidad de especies regeneradas de manera natural, que sirve como hábitat de fauna; muchas especies de ellas amenazadas o en peligro crítico. Lo cual permite la conservación, valoración y aprovechamiento de dicha diversidad mediante el fomento de la investigación y la educación ambiental.

1.5.5.6 Suelos. Cuenta con un buen drenaje, pero con mucha susceptibilidad a la erosión, por tratarse de suelos en frecuente formación. Se caracteriza por presentar un considerable grado de acidez donde la saturación de base es pobre, el contenido de calcio bajo, magnesio y potasio intercambiable para cumplir los requerimientos de las plantas, escasez de fósforo y alta contenido de aluminio. Los suelos se clasifican como entízales originarios por procesos aluviales de alta meteorización, presentan perfiles no desarrollados de textura franco arcillosa de colores gris amarillo con bajo contenido de material orgánico y PH ácido.

1.5.5.7. Fauna. En el jardín se encuentra gran variedad de fauna: mamíferos tales como guaras (*Dasyprocta punctata*), armadillo (*Dasyprocta novemcinctus*), borugas (*Agouti paca*), ardillas (*Sciurus sp.*), mono soldado (*Saimiri sciureus*), aves como la guacharaca (*Ortalis guttata*), muchileros (*Gacucos sp.*), gavilanes (*Falco sp.*), azulejo (*Traupis episcopus*), loros (*Fionopsitta sp.* y *Pionus sp.*), algodoneros (*Gissopsis leveriana*), torcazas (*Zenaída sp.*), carpintero (*Ganphepilus sp.*), gallito de roca (*Rupícola peruvianos*) entre otros.

1.5.5.8. Composición florística. La vegetación que se encuentra en el área de influencia se puede ubicar dentro de tres tipos de bosques, rastrojo, bosque mixto y bosque primario intervenido (galería). En el Jardín Botánico existe una gran variedad de especies, epifitas, lianas y enredaderas que le dan a la zona una connotación especial propia de los bosques amazónicos.

1.6. Diseño metodológico

Para la realización de esta investigación se siguió las siguientes etapas:

Etapa 1. Diseño. Esta fase concibe los pasos preliminares que se siguieron en el desarrollo del trabajo. Se diseñó el modelo estadístico, las planillas de campo, Se seleccionó la metodología de la investigación y el método más apropiado para cálculo de biomasa, para cuantificación de carbono de árboles en pie, diseño del muestreo, localización preliminar del bosque donde se encuentra la especie (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg. mediante una imagen satelital. Se hizo consultas virtuales a centros de investigación sobre estudios de captura de carbono, y consulta de la Normatividad.

Etapa 2. Fase exploratoria o de campo. Esta fase se relaciona básicamente a trabajo de campo que se siguió para la toma de información, para ello se contó con las planillas para el inventario de los ejemplares de caucho (59 árboles) y para la caracterización de los 5 árboles objeto de la muestra. Igualmente se recolectaron muestras botánicas y de diferentes partes del fuste, raíces, hojas, cortezas etc. para su caracterización en diferentes contenidos de humedad (verde, seca al aire y anhídrido). Se tomaron fotografías y videos de la secuencia del trabajo de

campo El inventario de la especie (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg. se realizó con una intensidad del 100% y de dicha población se tomó una muestra de los 5 ejemplares objeto de la investigación. Cada árbol inventariado tanto de la población de (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg) como de la muestra se georreferenciaron para su localización en las imágenes satelitales.

Etapa 3. Trabajo de Laboratorio. Una vez obtenido las muestras de cada parte de los 5 árboles objeto de la investigación se procedió a medir, pesar y secar las muestras (Fuste, hojas, raíz, corteza) utilizando instrumentos de alta precisión como el pie de rey, balanza digital electrónica y un horno de secado En esta etapa se hizo uso del laboratorio de química del ITP. Donde se sometió las muestras de cada árbol muestreado a una condición anhidras a 103°C para el respectivo cálculo de peso, contenido de humedad y densidad anhidra.

Etapa 4 Fase de Procesamiento de información. En dicha fase se procesó la información obtenida en campo, y en el laboratorio. Se realizaron los respectivos análisis estadísticos de los arboles muestreados con sus respectivas inferencias, se calcularon los volúmenes ajustados con los coeficientes de forma calculados, se realizaron los diferentes cálculos de cantidades de carbono y bióxido de carbono almacenados, se hizo una ordenación sistemática de toda la información de campo, laboratorio y oficina.

Etapa 5. Presentación y sustentación de resultados. Se elaboró el informe de resultados de la investigación mediante la modalidad de Tesis, ajustada a la normatividad vigente en el Instituto Tecnológico del Putumayo. Se realizó una presentación audiovisual, para ser sustentada ante jurados del Instituto Tecnológico del Putumayo.

1.6.1 Localización de los árboles. Dicha especie se seleccionó de acuerdo a la importancia dentro del ecosistema del Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP y del papel que desempeña como especie potencialmente industrial y por considerarse una especie de rápido crecimiento con una importante biomasa y un follaje que se renueva constantemente

Los árboles de (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg. se localizaron en un bosque de rastrojo mediante un inventario forestal, con una intensidad del 100% de los especímenes los cuales se georreferenciaron y localizaron en un mapa satelital obtenido de Google Earth. Se utilizó el programa de información geográfica ARG-Gis

1.6.2 Caracterización dendrométrica. Una vez localizados y numerados los árboles de (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg., se procedió a caracterizarlos dendrológicamente y dasométricamente mediante la medición de las siguientes variables: DAP, diámetro a 5 metros de altura, Altura total, Altura comercial, altura de copa, diámetro de copa, forma de copa, espesor de la capa de follaje, espesor de corteza, exposición respecto a la luz solar, Estado fitosanitario, volumen comercial y total, Densidad de la especie. Coeficiente de forma,

Una vez obtenida la información dendrométrica de toda la población de (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg. se procedió a calcular el tamaño de la muestra, a los cuales se les calculó la captura de carbono y bióxido de carbono. Igualmente se hizo una gráfica mediante una tabulación de distribución diamétrica de todos los árboles localizados en el Jardín Botánico.

1.6.3 Selección de la muestra. Los árboles muestra (5 en total), fueron sometidos a un muestreo de sus diferentes partes (follaje, raíz, tallo, corteza y hojas), sin necesidad de destruidos y bajo condiciones verde, seca al aire, y anhidra (seca al horno).

La biomasa aérea (biomasa sobre el suelo) de cada árbol objeto de muestreo se dividió en seis secciones: biomasa del fuste comercial, biomasa de madera total incluyendo ramas y corteza, biomasa de corteza, biomasa foliar y (biomasa bajo el suelo) Biomasa radicular.

Para obtener datos de la biomasa radicular se obtuvieron muestras de raíces, para lo cual se empleó un proceso de cálculo de densidad de diferentes probetas en condiciones verde, seca al aire y seca al horno y mediante la aplicación de un factor de expansión recomendado por (IPCC) se obtuvo el volumen total de raíz, la biomasa, la cantidad de carbono y bióxido de carbono capturada en esta sección del árbol sin necesidad de destruir el árbol.

En el sitio del muestreo se pesaron todos los componentes de biomasa en condición verde por separado y se sacaron las muestras de cada sección (tres muestras por sección), a excepción de las muestras de follaje que fueron dos y estas se promediaron para los arboles muestra para luego ser analizados en el laboratorio del ITP. En el laboratorio se determinó el contenido de humedad, tanto en verde, seca al aire en base a materia seca al horno. Igualmente, se determinó el carbono presente y almacenado en cada sesión de la biomasa. Además, se determinó la densidad básica de la madera para convertir el volumen a biomasa y así obtener a través de un factor de expansión (relación entre la biomasa total y la biomasa del fuste la cantidad de carbono almacenado). En el momento de caracterizar cada árbol se midió el espesor de corteza, se tomó un diámetro a 5 metros de altura, con lo cual se pudo calcular el coeficiente forma y el respectivo porcentaje y/o contenido de corteza.

El registro de los datos de campo de los árboles muestra se consignó en la siguiente tabla:

Cuadro1: Planilla de campo, para recepcionar la información

Arbol No.	D.5mt	Coord	DAP (cm)	Altura (m)		F. copa	D. Copa	Esp. corteza (CM)	Vol de copa	Vol. capa foliar (MJ)	Peso capa foliar Krs.	Est. fitos.
				Total	Comer							

Fuente, Las autoras

Donde: Coord: Coordenada

D.5 mt: Diámetro a 5 metros de altura

DAP (cm) : Diámetro a la altura del Pecho en centímetros

Comer: Comercial

F.Copa. Forma de copa

D.copa. Diámetro de copa

Esp.Cort.(Cm). Espesor de corteza en centímetros

Est. Fito: Estado fitosanitario

El tamaño de la muestra se realizó mediante un muestreo de 20 árboles, a los cuales se les midió el DAP el cual fue la base para realizar un cálculo de varianza y coeficiente de variación, para poder aplicar la fórmula de tamaño de la muestra:

$$n = t^2 * CV^2 / (a)^2 = n = 100 CV^2 = 100 (0.35)^2 = 4,9 \text{ Aprox. } 5 \text{ Arboles}$$

Donde (t) es un valor estadístico que puede elegirse arbitrariamente de acuerdo con los márgenes de confianza elegidos, para este caso se asumió un margen de confianza del 95%. El error (a) se consideró en un 10% por tratarse de plantaciones. El coeficiente de variación fue de 0.35. (Jorge Gilchrist Leighton y Jorge Gilchrist Moreno) Universidad Central de Chile.

1.6.4 Análisis estadístico descriptivo. Para el análisis estadístico de todos los árboles inventariados se utilizó los fundamentos básicos de la estadística descriptiva y para ello se tabuló cada estadígrafo en la tabla siguiente.

Cuadro 2 Planilla Estadígrafos utilizados en el análisis estadístico

Estadig	No. Arb.	Follaje		Fuste (prob)			Corteza		Raíz (prob)											
		Peso (gr)	Vol	Dens	Peso (gr)	Vol (c.c)	DensG r/cc	Peso (grs)	Vol (c.c)	Dens Gr/cc	Peso (gr)	Vol (c.c)	Dens (gr/cc)							
Media																				
Desviación estándar																				
Cofcic..																				
Variación																				
Varianza																				
Máximo																				
Mínimo																				

Fuente: Las autoras

Estadig: Estadígrafo

No.Arbol. Numero de árbol

Vol: Volumen

Dens: Densidad

Gr: Gramos

C.C: Centímetros cúbicos

1.6.5 Modelo de análisis e interpretación de datos. Se midieron todos los árboles de (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg., localizados en el Jardín Botánico de Mocoa, para calcular el Carbono total y Bióxido de carbono total en (ton), mediante inferencias de los resultados obtenidos en los 5 árboles muestra. Las mediciones correspondientes se realizaron para árboles en pie. Para obtener el C total se procedió a hallar primeramente el volumen, luego la biomasa del fuste, del follaje, del sistema radicular, de madera no comercial incluyendo (ramas) y corteza A continuación de desglosa los pasos a seguir:

1.6.5.1 Cálculo de volumen. Se halló el área basal (m^2/ha) por medio de la siguiente fórmula:

$$Ab. = \frac{\pi * DAP^2}{4} \quad (1)$$

Donde:

Ab = área basal en m^2

$\pi = 3,1416$

DAP = Diámetro a la Altura del Pecho (1,30 m)

Para determinar el volumen se utilizó la siguiente fórmula

$V = Ab * (f) * h$ (2) Donde:

V = volumen en m^3

Ab = área basal en m^2

f = factor de forma

h = altura en metro

1.6.5.2 Cálculo de biomasa. Se determinó la biomasa del fuste a partir del volumen se multiplicó la densidad aparente por dicho volumen. Pero primeramente se procedió al ajuste de

la densidad al peso seco al horno (anhidro), ya que los datos obtenidos de la densidad de la especie esta aproximadamente al 12% de contenido de humedad (CH) (Madera seca al aire)

1.6.5.3 Calculo de la densidad de las diferentes partes del árbol. Para calcular la densidad de las diferentes partes constitutivas del árbol se siguió el siguiente procedimiento:

- **Densidad de follaje en verde.** Para obtener la densidad del follaje en estado verde se utilizó un cubículo de 40x26x20 cms, equivalente a 20800 cm³ donde se introdujo parte del follaje, simulando su disposición en la rama del árbol en pie y se pesó inmediatamente, y con ello se halló su densidad utilizando la fórmula: $D = P/V$. Se utilizó dos muestras de árboles diferentes, (210 y 220 gramos) con las cuales se hizo el análisis y se promedió para los otros 3 árboles (Cuadro 7)
- **Densidad follaje seco al aire.** La densidad del follaje seco al aire, se obtuvo, sometiendo las mismas dos muestras a un secamiento al aire, durante 96 horas y luego se introdujo al mismo cubículo de 40x26x20 cms, luego se pesó y se calculó la densidad seca al aire. (Cuadro 8)

Figura 2, Secamiento de follaje al aire



Fuente. Las autoras

- **Densidad de follaje seca al horno.** Para el cálculo de la densidad seca al horno, este mismo volumen seca al aire se introdujo al horno a una temperatura de 50° a 60° grados

centigrado durante 48 horas, se pesó posteriormente y con el volumen del cubículo (30x30x30) cm se calcula la densidad seca al horno de la muestra de follaje de cada árbol. (Cuadro 9).

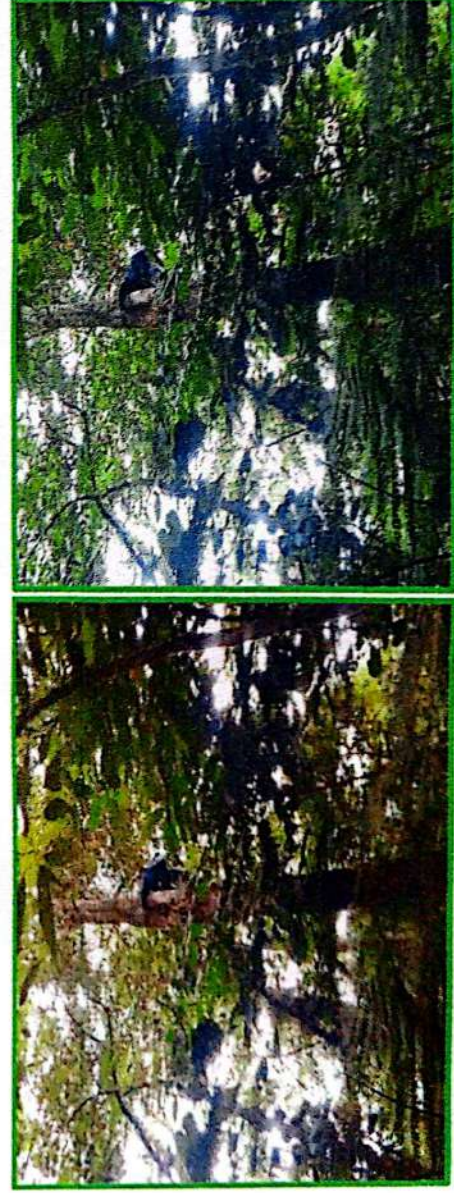
Figura 3. Secamiento de follaje al horno



Fuente. Las autoras

- **Densidad de la madera o fuste.** El cálculo de la densidad de madera correspondiente al fuste incluyendo las ramas se tomó 3 probetas de madera de 10 cms x 2cms x 2 cm de cada uno de los cinco árboles muestreados, se pesaron y con el volumen respectivo se halló la densidad mediante la siguiente formula: $D = P/V$, tanto para el estado verde, seca al aire y anhidra. (seca al horno). Las muestras de madera se tomaron de cada árbol sin necesidad de apearlo (Cuadros 7,8,9).

Figura 4. Obtención de muestras madera. Follaje y corteza



Fuente. Las autoras

Figura 5. Pesaje de probetas de madera seca al aire



Fuente: Los autores

- **Densidad de la raíz.** La densidad de las raíces, se calculó de igual forma que para el fuste, se recurrió a la preparación de 3 probetas de $2 \times 2 \times 10$ cms obtenidas de las raíces de cada uno de los cinco arboles muestra. Se pesaron las probetas en estado verde, seca al aire y seca al horno y con el volumen respectivo se halló la densidad mediante la fórmula $D = P/V$. (Cuadro 7,8,9).

1.6.5.4 Conversión de volumen a biomasa. Para obtener la biomasa se utilizó la fórmula propuesta por Brown (1997)

$$BF = (V * Pe)/1000 \quad (4)$$

Donde:

BF = biomasa del fuste en toneladas (t)

V = volumen en m³

Pe = densidad específica de la madera en kg/m³

1.6.5.5 Cálculo de biomasa total Posteriormente se procedió a calcular la biomasa total a partir del producto de la biomasa de la raíz, el fuste, el volumen no comercial (Ramaz) y Biomasa de follaje y corteza en condición seca al horno o anhidro.

$$BT = (BF+BR) + BR + Bf (\text{follaje}) + Bc (\text{corteza})$$

Donde:

BT = biomasa total en toneladas (t)

BF = biomasa del fuste en toneladas (t) incluye la biomasa de ramas

Bf = biomasa de follaje (t)

BR = biomasa de raíz (t)

Bc = Biomasa de corteza (t)

Se calculó primeramente la biomasa para los arboles muestra, luego la biomasa del promedio de la muestra y posteriormente se multiplicó por el total de árboles de (*Hevea brasiliensis*). Muell. Arg.) presentes en el bosque del Jardín Botánico

1.6.5.6 Cálculo de carbono aéreo total. La biomasa total se multiplicó por 0,5 debido a que la materia seca contiene en promedio un 50 % de carbono almacenado, para ello se utilizó la siguiente fórmula (IPCC, 2003).

$$CAT = BT * 0,5 \quad (6)$$

Donde:

CAT = carbono aéreo total en toneladas de carbono (tC)

BT = biomasa total en tonelada (t)

1.6.5.7 Cálculo de carbono radicular. El valor de carbono radicular se obtuvo a través del método indirecto de cálculo, que consiste en relacionar el carbono aéreo de cada especie a través de la siguiente fórmula propuesta por el IPCC y se utilizó la relación media entre biomasa bajo/sobre el suelo de 0,24 para bosque húmedo tropical y subtropical. En la investigación se calculó la biomasa contenida en cada muestra (probetas correspondientes a la raíz de cada árbol)

$$.CR = 0,24 * (BA) \quad (7)$$

Donde:

CR = carbono radicular en toneladas por hectárea (t/ha)

BA = Biomasa aérea en toneladas por hectárea (t/ha)

Adoptando la fórmula anterior se hizo la siguiente comparación: Por cada tonelada de biomasa aérea existe 0,24 toneladas de biomasa radicular.

1.6.5.8 Cálculo de Biomasa de follaje. El cálculo de biomasa del follaje se hizo mediante el valor obtenido de la densidad de follaje seca al horno, mediante un procedimiento, elemental. Se tomó un cubo de 40 x 26 x 20 equivalente a (20.800 cm³) y se depositó en él una capa de follaje verde simulando su estado natural, luego se pesó y con ello se calculó la densidad verde y posteriormente este mismo volumen se llevó a condición seca al aire y seca al horno (Anhidro) y aplicando la relación $D = P/V$ se calculó la densidad de follaje y por ende el volumen y peso del follaje. Para este procedimiento se tomó 2 muestras de los árboles más representativos y se promedió para los 5 árboles muestreados,

1.6.5.9 Cálculo de biomasa de madera total comercial y no comercial incluyendo (Ramas y corteza). Mediante la fórmula del volumen total ($V = AB \times H \times C F$), se calcula el volumen total. Se asumió como si fuese un fuste de una conífera, cuyo ápice del fuste corresponde a la altura total. Algunos autores consideran que la sección de ramas corresponde al fuste no comercial hasta el ápice conservando la proporcionalidad de ahusamiento que para la investigación dicho ahusamiento se calculó en 0.779.

1.6.5.10 Cálculo de biomasa de corteza. Se tomaron 3 muestras de cada árbol, con dimensiones de 7 x 3 cms y con el espesor de corteza de cada árbol se calculó el volumen y la

densidad, verde, seca al aire y anhídrido. El volumen de corteza de cada árbol se calculó mediante la siguiente fórmula matemática

$$V.C \% (1 - (K)^2) * 100$$

Donde V.C % : Volumen de corteza en porcentaje

K: Parámetro calculado mediante la relación Diámetro sin corteza sobre el DAP con corteza

Una vez calculado el volumen de corteza en % este se multiplica por el volumen total de los 5 árboles calculado en metros cúbicos y con ello se obtuvo el volumen de corteza en metros cúbicos. Se utilizó la siguiente tabla;

Cuadro.3. Cálculo de volumen de corteza de 5 árboles muestreados de (Hevea brasiliensis).Muell. Arg.

Nº Arb	D.5mt	DAP(cm)	Esp.cort.	Doble Esp.Cort.	Diam.Sin Cort.	Vol Cort. (%)
1						
2						
3						
4						
5						
TOTAL						

Fuente. Las autoras

1.6.5.11 Cálculo de carbono total. Para estimar el carbono total de la especie se procedió a sumar el carbono aéreo total y el carbono radicular.

$$CT = CAT + CR$$

Donde:

CT = carbono total en toneladas de carbono (tC)

CAT = carbono aéreo total en toneladas de carbono (tC)

CR = carbono radicular en tonelada de carbono (tC)

1.6.5.12 Cálculo de Bióxido de carbono. Una vez obtenido el total de biomasa se calculó el total de bióxido de carbono, primeramente, para los árboles muestra, luego para el árbol promedio y posteriormente para el total de árboles. Se utilizó la relación de peso molecular de CO₂ y de carbono. (44gr/mol)

1.6.5.13. Coeficiente de forma según la fórmula de Schuberg y Schiffel. Por cuanto no se conoce previamente para esta especie el coeficiente de forma y que es fundamental para conocer el peso y volumen de la biomasa, especialmente del fuste se utilizó la siguiente fórmula $K = Di/d.a.p$

Donde

K: Cociente de forma de Schuberg y Schiffel

Di: Es un diámetro a cualquier altura del fuste

Da.: Diámetro a la altura del pecho.

1.6.5.14 Procesamiento de datos. Se utilizó la estadística descriptiva y comparativa. Se calculó la Media que es una medida de tendencia central y el Coeficiente de Variación (CV) que es una medida de dispersión. Las variables comparadas serán el volumen (Vc), Volumen total (Vt), el área basal (Ab) y el stock de C y bióxido de carbono (t). Se realizó el Análisis de Variancia con las herramientas de datos de Excel.

1.7. Tipo de investigación.

Se trata de una investigación mixta (Cuantitativa-cualitativa) tendiente a determinar indicadores de captura de carbono, indicadores de biomasa de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell.Arg., como componente de la estructura y la dinámica forestal del bosque del Jardín Botánico tropical Amazónico, del ITP. Por la naturaleza del estudio se complementó con datos estocásticos y cualitativos direccionados a la interpretación de los indicadores tanto de captura de carbono como del cálculo de biomasa.

Esta propuesta se encuentra inscrita en el Centro de Investigación del ITP CIECYT

Programa: Ciencias biológicas

Línea: CADENAS PRODUCTIVAS FORESTALES NO MADERERAS.

Sublínea: Comercialización y distribución de productos forestales no madereros

Este trabajo se realizó interdisciplinariamente por dos estudiantes Una de Ingeniería Forestal y otra de la Tecnología en Saneamiento Ambiental

1.8 Hipótesis.

La especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg. en condiciones de bosque secundario enriquecido con especies maderables, por sus características dendrológicas, fisiológicas y morfométricas tiene un gran potencial, para capturar carbono a través del proceso fotosintético del CO₂ producido por la contaminación y la dispersión atmosférica en el Jardín Botánico Tropical Amazónico.

2. Resultados de la investigación

2.1 Cálculo de cociente de forma.

Para el cálculo de cociente de forma se aplicó la fórmula dasométrica a 5 árboles según de Shuberg y Shiffel,

Cuadro. 4. Cociente de forma de árboles de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg.

No. Arbol	DAP	D inf-(5mt)	Edad (años)	C. Forma
1	42,5	30	30	0,706
2	20	15	19	0,750
3	43	31	30	0,721
4	18,1	18	19	0,994
5	18	13	19	0,722
Promedio				0,779

Fuente: Las autoras.

El cociente de forma 0,779 se tomó como referencia para calcular el volumen de la madera comercial, no comercial (incluye ramas) y total, indispensable para el cálculo de biomasa y por ende para el cálculo de carbono almacenado. La gráfica y el cuadro nos indican que el nivel de ahusamiento de los árboles de la especie, (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg. presentan un mediano ahusamiento con tendencia a ser fustes cilíndricos.

Gráfica 3. Cociente de forma de árboles de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg.)



Fuente: Las autoras

2.2 Tamaño de la muestra para análisis de carbono.

Se realizó un análisis de varianza de un grupo de árboles de la especie *Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) y en base al DAP se calculó el coeficiente de variación, aplicando la siguiente fórmula:

$$n = t^2 * CV^2 / (a)^2 = n = 4 CV^2 / 10^2 = 100 (0.35)^2 = 4,9 \text{ Aprox. } 5 \text{ Arboles}$$

Cuadro 5. Calculo de variables en 5 árboles de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg

.Nº Arb.	Diam.		Altura (M)		Diam .Copa (M)	Alt. Copa (M)	Esp. Capa foliar (M)	Forma de copa	ESP. Corteza (CM)	Vol. copa (M3)	Vol. Capa foliar (M3)	Peso de capa foliar KRS.
	5mt	DAP (cm)	A. Total	A. Co-mercial								
1	30	42,5	23	10	12,5	7	0,5	Globosa	0,85	1022	225,82	2258,2
2	15	20	15,2	4,2	4,3	5	0,5	Globosa	0,8	41,63	22,81	228,1
3	31	43	23	13	8,5	8	0,5	Globosa	0,8	321,56	100,70	1007
4	18	18,1	16,5	9,5	6,1	5	0,5	Globosa	0,75	118,85	49,4	494
5	13	18	15,2	3,8	7	3	0,5	Globosa	0,6	179,6	66,524	665,24

Fuente Los autores

Puede observarse además que la relación de estas variables en los 5 árboles es dispareja, por cuanto el árbol 1 y el árbol 3 corresponden a arboles con una edad de aproximadamente 30 años y el árbol 2,4,5 corresponde a edades de aproximadamente 22 años. Esta tendencia de desigualdad se aplica para toda la población de árboles de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell.

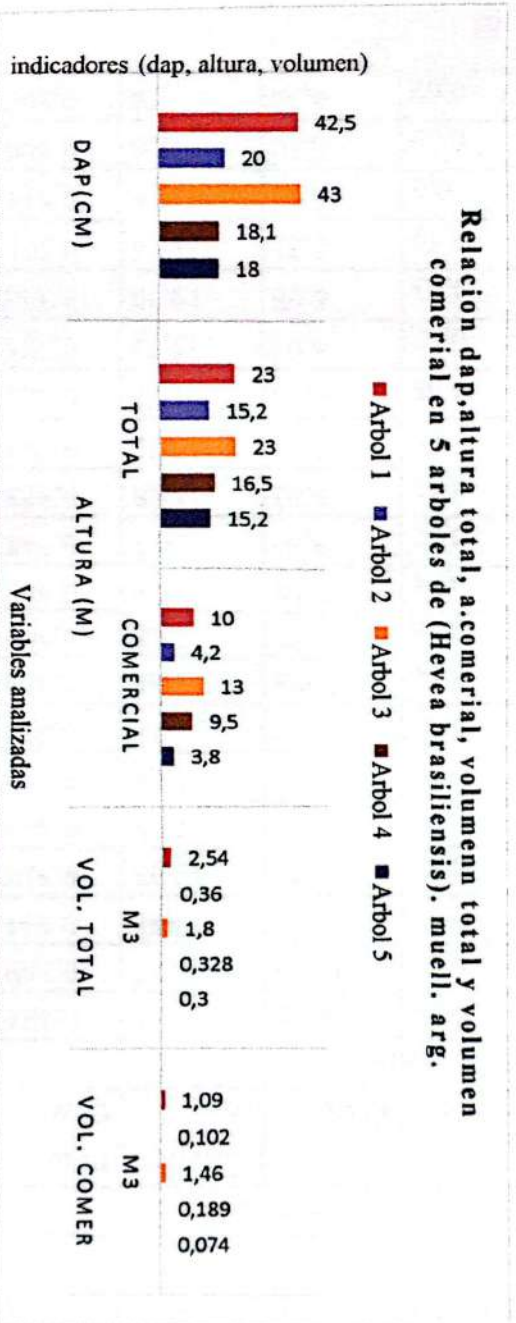
Arg. presentes en condición de un bosque enriquecido con especies maderables en el Jardín Botánico Tropical Amazónico.

Cuadro 6. Relación entre DAP, altura comercial, altura total, volumen total y comercial de la especie (*Hevea brasiliensis*) Muell. Arg

Relación entre DAP, altura comercial y altura total de los árboles muestreados					
Árbol	DAP (cm)	Altura Comercial (mt)	Altura total (mt)	Volumen Total M ³	Volumen comercial M ³ .
1	42,5		10	23	2,54
2	20		4,2	15,2	0,36
3	43		13	23	1,8
4	18,1		9,5	16,5	0,328
5	18		3,8	15,2	0,3
Total					5,328

Fuente. Las autoras

Grafica 4. Relación del DAP, altura comercial, altura total, Volumen comercial y total de la especie



Fuente. Las autoras

2.3. Variables calculadas en condiciones verdes y seca al aire y seca al horno.

Las muestras extraídas de cada uno de los 5 árboles se pesaron, se calculó el volumen y la densidad en condición verde, seca al Aire y anhidra.

Cuadro 7. Peso, volumen y densidad de las diferentes partes aéreas y radicular, en condición verde (Hevea brasiliensis)-

No. ARB	Follaje (Hojas)			Fuste (probetas)			Corteza			Raíz (probetas)		
	Peso (gr)	Volumen (c.c)	Densid Gr/cc	Peso (gr)	Volum (c.c)	Densid Gr/cc	Peso (c.c)	Volum (c.c)	Dens Gr/cc	Peso (gr)	Volumen (c.c)	Densidad (gr/cc)
1	210	20800	0,01	38 468	58	0,66	8,58	17,85	0,481	78	40	1,95
	220	20800	0,01	38 794	59	0,65	10,16	17,85	0,569	81	40	2,03
	Promedio	215	20800	0,01	36,68	58	0,62	9,25	17,85	0,518	79	40
2	210	20800	0,01	39,239 g	57	0,68	7,53	16,8	0,448	93	40	2,33
	220	20800	0,01	33,420 g	58	0,57	7,23	16,8	0,430	94	40	2,35
	Promedio	215	20800	0,01	37,65	58	0,64	7,353	16,8	0,438	93	40
3	210	20800	0,01	38,605 g	56	0,68	9,83	16,8	0,585	102	40	2,55
	220	20800	0,01	34,631 g	63	0,54	9,86	16,8	0,587	81	40	2,03
	Promedio	215	20800	0,01	36,69	59,3	0,61	9,63	16,8	0,573	87,6	40
4	210	20800	0,01	39,246 g	56	0,7	6,10	15,75	0,387	93	40	2,33
	220	20800	0,01	31,766 g	54	0,58	6,08	15,75	0,386	89	40	2,23
	Promedio	215	20.800	0,01	34,460 g	55	0,62	6,07	15,75	0,385	90	40
5	210	20800	0,01	33,559 g	56	0,59	6,31	12,6	0,501	102	40	2,55
	220	20800	0,01	33,958 g	56	0,6	6,48	12,6	0,514	90,6	40	2,27
	Promedio	215	20.800	0,01	35,15	55	0,63	6,08	15,75	0,386	90,6	40
Promedio	215	20.800	0,01	36,205	57	0,62	6,36	13	0,505	95,86	40	2,40
	220	20800	0,01	41,098 g	59	0,69	6,30	12,6	0,500	95	40	2,38
	Promedio	215	20.800	0,01	36,205	57	0,62	6,36	13	0,505	95,86	40

No. Arb	Follaje				Fuste (probetas)				Corteza				Raiz (probetas)											
	Peso (gr)	Volumen (c.c)	Densid Gr/cc	Peso (gr)	Volum (c.c)	Densid Gr/cc	Peso (grs)	Volum (c.c)	Dens Gr/cc	Peso (gr)	Volum (c.c)	Densid Gr/cc	Peso (gr)	Volumen (c.c)	Densidad (gr/cc)									
1	102,43	20800	0,004	35,55	58	0,613	7,58	17,850	0,425	15,02	40	0,376	135,82	20800	0,006	36,51	59	0,619	9,16	17,850	0,513	15,61	40	0,390
Promedio	119,125	20800	0,005	33,68	58	0,581	8,2	17,850	0,462	15,31	40	0,383	102,43	20800	0,004	37,22	57	0,653	6,53	16,800	0,389	21,53	40	0,538
2	135,82	20800	0,006	30,47	58	0,525	6,2	16,800	0,371	17,36	40	0,434	102,43	20800	0,004	35,92	56	0,641	9,63	16,800	0,573	22,58	40	0,565
Promedio	119,125	20.800	0,005	34,97333	58	0,603	6,35	16,800	0,378	19,30	40	0,482	135,82	20800	0,006	30,72	63	0,488	8,86	16,800	0,527	17,65	40	0,441
3	102,43	20800	0,004	32,93	59	0,558	9,00	16,800	0,536	19,50	40	0,488	102,43	20800	0,004	37,68	56	0,673	5,10	15,750	0,324	13,32	40	0,333
Promedio	119,125	20.800	0,005	33,19	59,3	0,560	9,16	16,800	0,545	19,91	40	0,498	135,82	20800	0,006	29,32	54	0,543	5,08	15,750	0,323	11,08	40	0,277
4	102,43	20800	0,004	31,07	55	0,565	5,07	15,750	0,322	12,15	40	0,304	102,43	20800	0,004	30,2	56	0,539	5,31	12,600	0,421	11,52	40	0,288
Promedio	119,125	20.800	0,005	32,69	55	0,594	5,08	15,750	0,323	12,18	40	0,305	135,82	20800	0,006	29,32	56	0,524	5,48	12,600	0,435	12,78	40	0,320
5	102,43	20800	0,004	31,07	59	0,527	5,30	12,600	0,421	12,10	40	0,303	102,43	20800	0,006	31,07	59	0,527	5,30	12,600	0,421	12,10	40	0,303
Promedio	119,125	20.800	0,005	30	57	0,530	5,36	12,600	0,426	12,13	40	0,303	135,82	20.800	0,005	31,07	57	0,530	5,36	12,600	0,426	12,13	40	0,303

Cuadro 8. Peso, volumen y densidad de las diferentes partes aéreas y radicular, en condición seca al Aire (Hevea brasilienses)

Cuadro 9. Peso, volumen y densidad de las diferentes partes aéreas y radicular, en condición seca al Horno (Hevea brasilienses)

No. ARB	Follaje (Hojas)			Fuste (probetas)			Corteza			Raíz (probetas)		
	Peso (gr)	Volumen (c.c)	Densid Gr/cc	Peso (gr)	Volum (c.c)	Densid Gr/cc	Peso (grs)	Volum (c.c)	Dens Gr/cc	Peso (gr)	Volumen (c.c)	Densidad (gr/cc)
1	83,2	20800	0,004	24,44	58	0,421	4,01	17,85	0,225	12,28	40	0,307
	93,6	20800	0,005	25,70	59	0,436	3,85	17,85	0,216	12,82	40	0,321
	Promedio	88,4	20800	0,004	24,44	58	0,421	3,92	17,85	0,220	12,53	40
2	83,2	20800	0,004	25,16	57	0,441	4,09	16,8	0,243	14,51	40	0,363
	93,6	20800	0,005	19,40	58	0,334	4,18	16,8	0,249	13,72	40	0,343
	Promedio	88,4	20.800	0,004	23,31	58	0,402	4,1	0,244	14,00	40	0,350
3	83,2	20800	0,004	25,00	56	0,446	5,13	16,8	0,305	17,55	40	0,439
	93,6	20800	0,005	20,10	63	0,319	5,22	16,8	0,311	12,38	40	0,310
	Promedio	88,4	20.800	0,004	21,66	59,3	0,365	5,12	0,305	14,98	40	0,374
4	83,2	20800	0,004	24,48	56	0,437	6,98	15,75	0,443	10,25	40	0,256
	93,6	20800	0,005	18,11	54	0,335	6,08	15,75	0,386	8,55	40	0,214
	Promedio	88,4	20.800	0,004	20,88	55	0,380	6,49	0,412	9,30	40	0,233
5	83,2	20800	0,004	18,86	56	0,337	7,78	12,6	0,617	9,04	40	0,226
	93,6	20800	0,005	20,21	56	0,361	7,26	12,6	0,576	9,81	40	0,245
	Promedio	88,4	20.800	0,004	24,92	59	0,422	7,40	0,587	9,40	40	0,235
Promedio	88,4	20.800	0,004	21	57	0,374	7,48	13	0,594	9,42	40	0,235

Fuente. Las autoras

2.4 Densidad promedio de las diferentes partes constitutivas de los 5 árboles muestra en condición verde (V), seca al aire (SA) y seca al horno (SH).

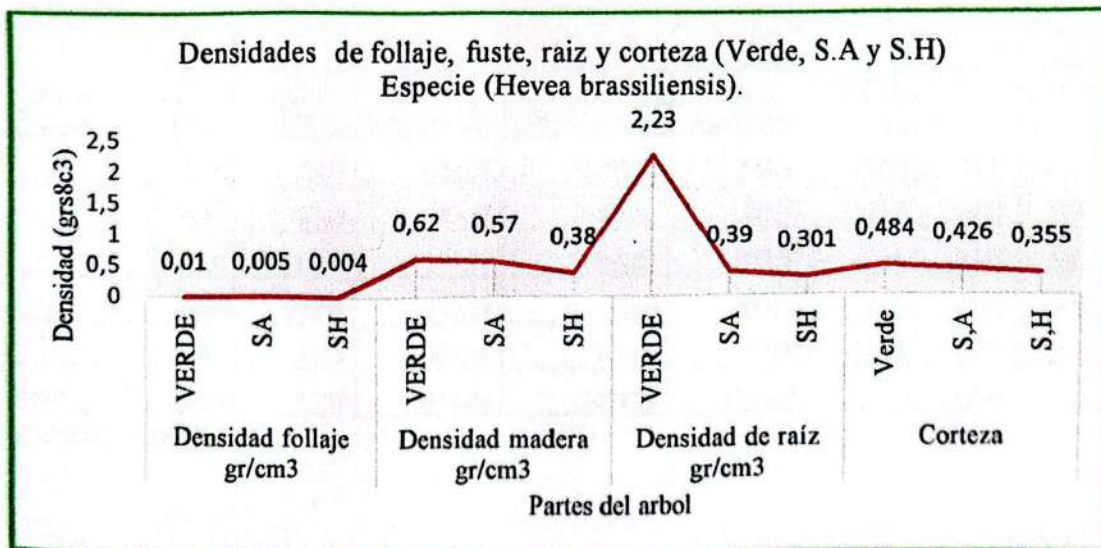
El cuadro 10 muestra la densidad promedio calculada para los diferentes componentes de los cuatro arboles muestreados, tanto en condición seca al aire, verde como seca al horno, determinante para hallar la humedad y la biomasa. ^

Cuadro 10. Densidad promedio de las diferentes partes constitutivas de los 5 árboles muestra en condición verde (V), seca al aire (SA) y seca al horno (SH).

Arbol	Densidad follaje gr/cm ³			Densidad madera gr/cm ³			Densidad de raíz gr/cm ³			Corteza		
	verde	S.A	S.H	verde	S.A	S.H	verde	S.Aa	S.H	verde	S.A	S.H
1	0.01	0,005	0.004	0.62	0.58	0.421	1.98	0.383	0.313	0.518	0.462	0.220
2	0.01	0,005	0.004	0.64	0.60	0.402	2.33	0.482	0.352	0.438	0.378	0.245
3	0.01	0,005	0.004	0.61	0.56	0.365	2.19	0.498	0.374	0.573	0.545	0.305
4	0.01	0,005	0.004	0.63	0.59	0.380	2.27	0.305	0.233	0.386	0.323	0.412
	0.01	0,005	0.004	0.62	0.53	0.374	2.40	0.303	0.235	0.505	0.426	0.594
Prom	0.01	0,005	0.004	0.62	0.57	0.38	2.23	0.39	0.301	0.484	0.426	0.355

Fuente los autores

Grafica 5. Promedio de la densidad de follaje, madera, raíz y corteza en condición (Verde, S.A y S.H) de los 5 árboles muestreados de *Hevea brassiliensis*. Muell Arg..



Fuente: Los autores

2.5. Calculo de biomasa de los componentes constitutivos de cada árbol muestra

Partiendo de que el peso anhidro es el valor de biomasa, se procedió a pesar cada una de las partes correspondientes a los cinco arboles de muestra (follaje, fuste, Raiz y corteza) y una vez obtenido el volumen y la densidad de cada parte seca al horno (Anhidro). Se utilizó la formula; $P = V \times D$. El cálculo del peso fue necesario para calcular la biomasa en Toneladas.

Cuadro 11. Peso de la capa foliar verde-seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de Hevea brassiliensis. Muell. Arg.

No. Arbol	Vol, capa foliar (m3)	Peso capa foliar (verde) krs,	Peso Capa foliar (S,A)Kgs	Peso Capa foliar (S,H)Kgs	Densi Ver-degr/cm3	Dens S.A gr/cm3	Dens S.H gr/cm3
1	225,82	2258,2	1129,10	903,280	0,01	0,005	0,004
2	22,81	228,1	114,05	91,240	0,01	0,005	0,004
3	100,7	1007	503,50	402,800	0,01	0,005	0,004
4	49,4	494	247,00	197,600	0,01	0,005	0,004
5	66,524	665,24	332,62	266,090	0,01	0,005	0,004
TOTAL		4652,54	2326,270	1861,010			

Fuente. Las autoras

Cuadro 12. Peso de la madera de fuste en condición verde-seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de Hevea brassiliensis. Muell. Arg.

No de arbol	Vol, Total M3	Vol Total (S,C) M3	Peso de la madera Sin.cort Kgs (Verde)	Peso de la madera Sin corteza Kgs (S.A)	Peso de la madera Sin corteza Kgs (S.H)	% Corteza	Vol Corteza (M3)	Dens Verde gr/cm3	Dens. S.A gr/cm3	Dens.(S.H) gr/cm3
1	2,54	2,244	1391,49	1301,72	942,62	11,64	0,296	0,62	0,58	0,42
2	0,36	0,318	203,58	190,86	127,24	11,64	0,042	0,64	0,6	0,4
3	1,8	1,590	970,19	890,67	572,57	11,64	0,210	0,61	0,56	0,36
4	0,328	0,290	182,59	170,99	110,13	11,64	0,038	0,63	0,59	0,38
5	0,3	0,265	164,35	140,49	98,08	11,64	0,035	0,62	0,53	0,37
Total	5,328	4,708	2912,20	2694,73	1850,65		0,620			

Fuente. Las autoras

Cuadro 13. Peso de la corteza en condición verde, seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de *Hevea brassiliensis*. Muell. Arg.

No. Arbol	Vol Corteza (M ³)	Peso de cort (Verde) Kgs	Peso (S.A) Kgs	Peso (S.H) Kgs	Dens.Verde Gr/ Cm ³	Dens. S.A Gr/Cm ³	Dens. S.H Gr/Cm ³
1	0,296	150,78	136,00	65,04	0,51	0,46	0,22
2	0,042	18,02	15,50	10,06	0,43	0,37	0,24
3	0,210	119,43	113,14	62,86	0,57	0,54	0,30
4	0,038	14,51	12,22	15,65	0,38	0,32	0,41
5	0,035	17,46	14,67	20,60	0,5	0,42	0,59
Total	0,620	320,20	291,53	174,21			

Fuente, Las autoras

*Para el cálculo del peso de la madera (Anhidro) se descontó el peso de la corteza, es decir se tuvo en cuenta solamente la madera sin corteza. ³

Cuadro 14. Peso de la Raíz en condición verde, seca al aire- Seca al Horno de 5 árboles de *Hevea brassiliensis*. Muell. Arg.

No. Arbol	Peso Verde Aéreo Kgs	Peso S.A Aéreo Kgs	Peso S.H. Aéreo Kgs	Peso Raíz Kgs.Verde (*0,24)	Peso Raíz S.A Kgs. (*0,24)	Peso Raíz Kgs S.H (*0,24)
1	3800,48	2566,82	1910,9488	912,115	616,04	458,63
2	449,70	320,41	228,53536	107,928	76,90	54,85
3	2096,62	1507,31	1038,2288	503,189	361,75	249,17
4	691,10	430,21	323,385376	165,863	103,25	77,61
5	847,05	487,78	384,7724	203,292	117,07	92,35
Total				1892,386	1275,01	932,61

Fuente. Las autoras

*El peso de la raíz seco al horno (Anhidro) corresponde al 0.24 del peso aéreo del árbol según (IPCC).

2.0 Cálculo de biomasa y carbono total de 5 árboles de la especie (Hevea brassiliensis)

Muell.Arg del Jardín Botánico Tropical Amazónico.

Cuadro 15. Cálculo promedio de Biomasa y carbono de las diferentes partes constitutivas de cinco árboles de Hevea brassiliensis, Muell. Arg en el Jardín Botánico Tropical Amazónico.

Partes del árbol	Biomasa en (Toneladas)	Carbono Acumulado Ton. (*0.50) de la biomasa IPCC, 2003	Densidad seca al horno(grs/cm ³)
Fuste	1,85065	0,925	0,38
Follaje	1,86,101	0,93	0,004
Raíz	0,93261	0,4663	0,301
Corteza	0,17421	0,0871	0,355
TOTAL	4,81848	2,409	0,26

Fuente. Las atoras

Cálculo de carbono radicular se obtuvo de igual forma que en los casos anteriores, multiplicando la biomasa por 0.50. A través de la fórmula propuesta por el IPCC para bosque húmedo tropical y subtropical.

$$CR = 0,5 * (CA)$$

En el cuadro anterior muestra que donde se concentra la mayor biomasa de las diferentes partes del árbol es en el follaje, siguiendo en orden descendente el fuste, el sistema radicular y corteza respectivamente.

2.7 Cálculo de biomasa y carbono total para la totalidad de árboles de Hevea brassiliensis distribuidos en un bosque enriquecido con especies maderables en el Jardín Botánico Tropical Amazónico

$$\text{Biomasa Total} = \frac{\text{Biomasa promedio de 5 árboles (Ton)} \times \text{N}^{\circ} \text{ de árboles inventariados en el Jardín}}{5}$$

$$BT = \frac{B (5 \text{ árboles}) * 59 (\text{árboles})}{5}$$

$$BT = \frac{4,818 \text{ Tn} * 59 \text{ Arboles}}{5} = 56.85 \text{ Toneladas.}$$

$$BT = 56.85 \text{ Toneladas}$$

$$\text{Carbono Total} = \frac{\text{Carbono promedio de 5 \u00e1rboles (Tn)} * \text{No. de \u00e1rbol inventariados en el Jard\u00edn Bot\u00e1nico}}{5}$$

$$CT = \frac{C (5 \text{ \u00e1rboles}) * 59 (\text{arboles})}{5}$$

$$CT = \frac{2,409 \text{ Tn} * 59 (\text{arboles})}{5}$$

$$CT = 28,426 \text{ Toneladas}$$

2.8 C\u00e1lculo de CO₂ total fijado por los \u00e1rboles de la especie Hevea brassiliensis. Muell. Arg

Para calcular el CO₂ fijado en los \u00e1rboles de la especie Hevea brassiliensis localizados en un bosque enriquecido con especies maderables del Jard\u00edn Bot\u00e1nico Tropical Amaz\u00f3nico, se hizo el siguiente an\u00e1lisis: El total de toneladas de carbono almacenado en los 59 \u00e1rboles de Hevea se debe multiplica por el factor 3,67 el cual se deriva del peso at\u00f3mico del CO₂. La masa at\u00f3mica del carbono (C) es 12 y la del ox\u00edgeno (O) es 16. La masa molecular del di\u00f3xido de carbono (CO₂) est\u00e1 compuesta de un \u00e1tomo de carbono y dos \u00e1tomos de ox\u00edgeno. En otras palabras, 44 unidades de peso de di\u00f3xido de carbono (12+32=44) contienen 12 unidades de peso de carbono y 32 unidades de peso de ox\u00edgeno. Una unidad de peso de carbono equivale 3,67 unidades de CO₂ (44/12), por lo tanto 28,426 Toneladas de carbono almacenadas en 59 \u00e1rboles equivalen a 104,32 toneladas de CO₂ capturadas en el momento del estudio.

$$\text{Total CO}_2 = \text{TC de carbono en 59 \u00e1rboles} * 3,67$$

$$\text{Total de CO}_2 = 28,426 \text{ Tn} * 3,67 = 104,32 \text{ Toneladas}$$

Cuadro 16. Relación entre la biomasa, carbono y dióxido de carbono del promedio de los cinco árboles muestreados. (* 3.67 Factor derivado de la masa molecular del CO2)

Partes del Arbol	Biomasa en (Toneladas)	Carbono Acumulado Ton. (*0.50) de la biomasa IPCC, 2003	Bióxido de carbono
Fuste	1,850	0,925	3,394
Follaje	1,861	0,93	3,413
Raíz	0,932	0,466	1,711
Corteza	0,174	0,087	0,319
TOTAL	4,818	2,409	8.837

Fuente: Las autoras

La mayor concentración tanto en la biomasa, carbono y CO2 se encuentra en el follaje seguido del fuste a diferencia de un bosque natural que presentaría lo contrario. Y posiblemente se debe a los hábitos decrecimiento de la especie.

2.9 Clasificación diamétrica de la población de *Hevea brassiliensis*, Muell. Arg. localizada en el Jardín Botánico Tropical Amazónico.

Se realizó una distribución diamétrica con el fin de determinar la desviación estándar y la varianza entre los DAP de la población objeto de estudio.

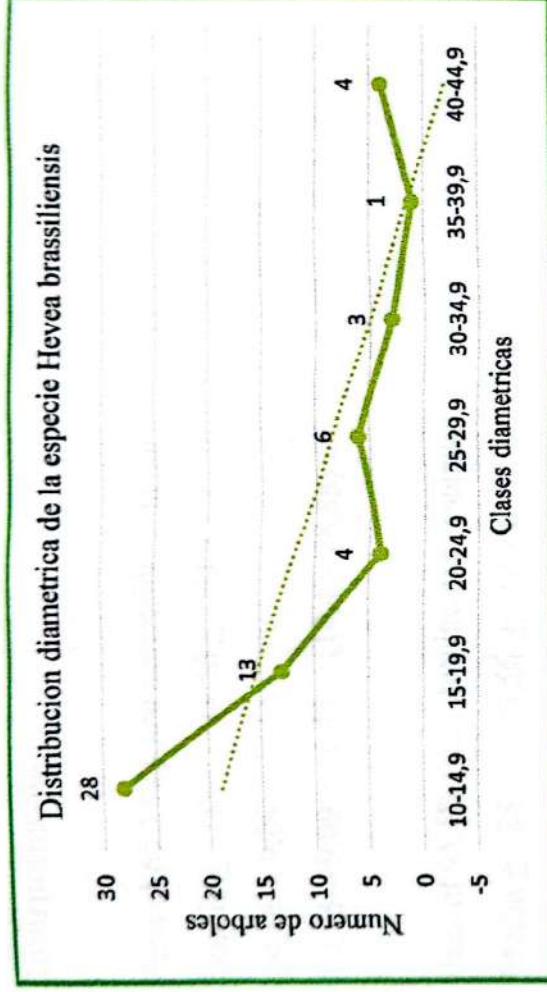
$$\text{Rango} = 34; \quad \text{Intervalos} = 1 + 3.3. \log(59) = 7, \quad \text{Amplitud} = 34 / 7 = 5$$

Cuadro 17. Análisis de la distribución diamétricas de la especie (*Hevea brassiliensis*) Muell.Arg, plantados en el Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP.

Intervalos	Marca de Clase	Frecuencia Fi
10-14.9	12.45	28
15-19.9	17.45	13
20-24.9	22.45	4
25-29.9	27.45	6
30-34.9	32.45	3
35-39.9	37.45	1
40-44.9	42.45	4

Fuente: Las autoras

Grafica 6. Distribución diamétrica de árboles de (Hevea brasiliensis) Muell.Arg plantados en el Jardín Botánico Tropical Amazónico



Fuente, Las autoras

Cuadro18. Análisis de varianza de la distribución diamétrica de la especie (Hevea brasiliensis) Muell. Arg

Xi	Fi	Xi*Fi	Xi-X	(Xi-X)² Fi
12,45	28	348,6	-7,11	1415,5
17,45	13	226,85	-2,11	57,87
22,45	4	89,8	2,89	33,40
27,45	6	164,7	7,89	373,51
32,45	3	97,35	12,89	498,45
37,45	1	37,45	17,89	320,05
42,45	4	169,8	22,89	2095,80
TOTAL		1134,55		4794,5

Fuente, Las autoras

Media

$$X = \frac{\sum xi.fi}{n-1} = \frac{1134,55}{58} = 19,56 \text{ cm}$$

Varianza

$$S^2 = \frac{\sum (X-X)^2 .fi}{n-1} = \frac{4794,5}{58} = 82,66$$

Desviación Estándar

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{82,66} = 9,09 \text{ cm}$$

70

Coefficiente de Variación $\frac{S}{\bar{X}} * 100 = 46,47$

Interpretación

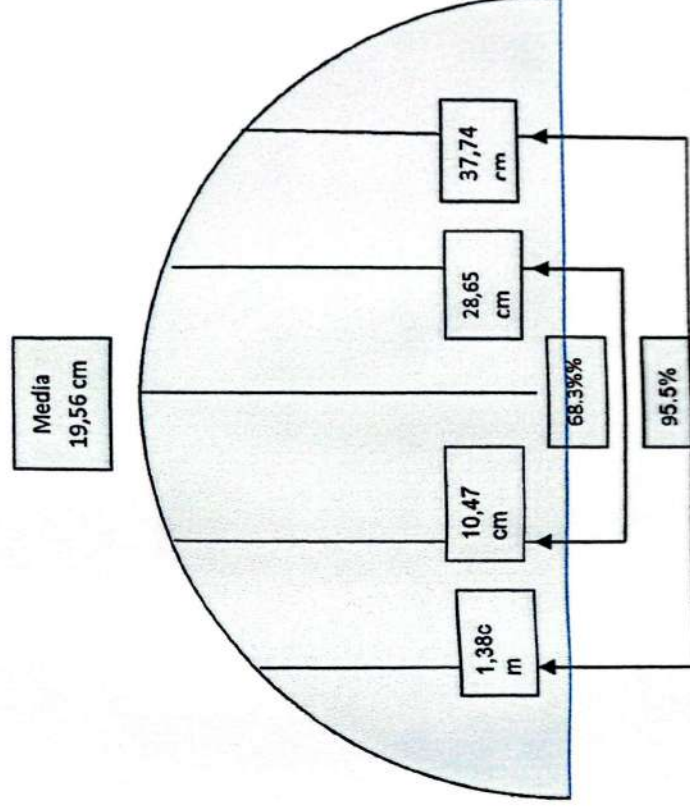
Para el 68.3 % y una desviación estándar

Media \pm 1S 19,56 \pm 9,09
19,56 + 9,09 = 28,65
19,56 - 9,09 = 10,47 (10,47- 28,65)

Para el 95.5% y dos desviaciones estándar

Media \pm 2S 19,56 \pm 18,18
19,56 + 18,18 = 37.74
19,56 - 18,18 = 1,38 (1,38 - 37,74)

Gráfica 7 Curva de distribución normal de las clases diamétricas, del rodal de tara del Jardín Botánico Tropical Amazónico del ITP.



Fuente. Las autoras

El 68.3 % de los árboles, correspondientes a 40 árboles de *Hevea brassiliensis*. Muell. Arg están comprendidos entre 10,47 cms y 28,65 cms de DAP

El 95.5% de los arboles correspondientes a 56 árboles de *Heves brassiliensis* están comprendidos entre 1,38 cms y 37,74 cms de DAP

La anterior grafica indica que se trata de un bosque intervenido, que ha sido enriquecido con especies maderables. La curva tiene una tendencia a una J invertida, pero existe una discontinuidad en las clases diametricas 4 y (25-29,9) y 5 (30-34,9) respectivamente, por cuanto se trata de una especie plantada y no existe regeneración natural, pero a medida que el bosque madure y se regenere la especie naturalmente la tendencia será de una J invertida perfecta. Por otra parte, dicha especie fue plantada en diferentes lotes y épocas.

3. Conclusiones

La mayor concentración tanto en la biomasa, carbono y CO₂ se encuentra en el follaje seguido del fuste a diferencia de un bosque natural que presentaría lo contrario. Y posiblemente se debe a los hábitos decrecimiento de la especie. según (Xiao 1.998) se debe a que las especies que crecen en lugares abiertos y que hayan sido inicialmente sitios talados como en el Jardín Botánico, presentan mayor biomasa foliar, comparado con árboles que crecen en bosques naturales

La especie *Hevea brasiliensis* Muell.Arg es una especie con alto potencial, de captura de carbono, CO₂ y Biomasa en condición de plantación, en bosque enriquecido por cuanto desarrolla un fuste bien desarrollado, y es de rápido crecimiento y altamente competente con especies de rastrojo.

Por su forma globosa, su sistema radicular y su buen comportamiento en este tipo suelos con poca capacidad agrícola ofrece muchos servicios ambientales a la comunidad como: sombra, amortiguador de los sonidos, descontaminado atmosférico por medio de la depuración de CO₂ fijando el carbono en todas las partes del árbol y más aún se constituye en un hábitat para especies endémicas como aves, insectos, roedores etc.

Existe una variación del contenido de (C) por componentes, siendo mayor para el follaje con 0,930 toneladas, en los 5 aboles de muestra y corresponde al (38.4%)2%), seguido del fuste con 0,925 ton, correspondiente al (38.39%) y como puede evidenciarse esta partes del árbol conservan igual proporción de Carbono Por otra parte la raíz contiene 0,466 toneladas de carbono en los 5 árboles y corresponde al 19.34% de carbono y para el caso de la corteza con un contenido de carbono de 0,087 toneladas en los 5 abole de muestra corresponde al 3.61%..El cantidad de biomasa y de CO₂ conservan las misma proporción que para el contenido de Carbono en las diferentes del árbol. Tanto el carbono del fuste como del follaje representa el doble del carbono acumulado en la raíz y 10 veces más que el contenido de carbono en la corteza.

En la gráfica 7 se puede observar que existe una desviación alta respecto a la media por cuanto son árboles que fueron plantados en diferentes épocas con deferencias que superan los 10 años es decir con edades entre 20 y 32 años, lo cual se ve representado en los alibajos de la curva , especialmente en las clases diamétricas 4 y 5.

Igualmente, la curva tiene una tendencia a una J invertida, pero existe una discontinuidad en las clases diamétricas 4 y (25-29,9) y 5 (30-34,9) respectivamente por cuanto se trata de una especie plantada y no existe regeneración natural, pero a medida que el bosque madure y se regenere la especie la tendencia será de una J invertida perfecta.

En la Amazonia colombiana aún no existe una metodología de precisión no destructiva, para cálculo de carbono en especies forestales puntuales, solo se limita a métodos estocásticos indirectos con alto grado de incertidumbre.

Existe dificultad de emprender esta clase de investigación por cuanto no existen estudios de ahusamiento de las diferentes especies, y aun se hace más compleja la investigación por tratarse de especies latifoliadas con diversidad de forma y tamaño de copas lo que implica obtener la cantidad de biomasa y carbono depositado en el follaje, ramas, y corteza.

4. Recomendaciones

Se recomienda que este tipo de investigación sobre captura de carbono sea una línea de investigación prioritaria para un grupo de investigación del ITP de tal forma que se extienda hacia otras especies nativas existentes en los diferentes ecosistemas y biomas de nuestro departamento.

Se recomienda realizar tratamientos silviculturales a estas especies plantadas en el Jardín Botánico, para optimizar la retención de carbono, y CO₂, por cuanto el aumento de follaje, como de fustes ayudan a mejorar una obtener una mayor biomasa y por ende a una mayor captura de C y CO₂

Se recomienda al Instituto Tecnológico del Putumayo hacer extensivo este tipo de investigaciones a las entidades ambientales del departamento del Putumayo para que se conozcan los alcances de la investigación y así obtener recursos tanto económicos y logísticos para la investigación.

Se recomienda implementar nuevas líneas de investigación tendientes a la realización de nuevos trabajos de captura de carbono y cálculo de bióxido de carbono tanto en especies urbanas como de bosque natural.

Se recomienda que los futuros trabajos de investigación en captura de carbono se sigan desarrollando mediante grupos interdisciplinarios es decir conformados por estudiantes y docentes de diferentes tecnologías e ingenierías.

Bibliografía

- Bastienne schlegel. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques dl tipo forestal siempre verde, Universidad Austral de Chile. Chile 2001.
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1984). A New Estimate Based. *Biomass of Tropical Forests*, Science, 2223 (4642), 120-1293.
- Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. IPCC. Cambio climático y biodiversidad [En línea]. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>.85 pp.[Descargado Mayo de 2017.]
- Carvajal Micaela, Mota Cesar, Iglesias Maria. Investigación sobre absorción de CO2 en los cultivos más representativos. Consejo Superior de Investigaciones científicas. Murcia. España.
- Espinoza-Domínguez, Krishnamurthy I. Vázquez-Alarcón, Torres Rivera. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(1): 57-70, 2012.Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/rscsa/v18n1/v18n1a6.pdf>. [Capturado Mocoa Agosto 18 de 2017].
- Fonseca, W.; Alice, F.;Rrey,J. M. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona caribe de Costa Rica. *Bosque (CL)*. 30(1): 36-47
- Gutiérrez Tejeiro G. Normatividad sobre cambio climático en Colombia, Diagnóstico y futuro. Instituto Colombiano de derecho ambiental. [En línea]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co>. [Descargado Agosto de 2017.]
- Richter, H.G., And Dallwitz, M.J. 2000.Maderas comerciales. Disponible en <ftp://delta-intkey.com/wood/es/www/euphebra.htm>. Descargado Septiembre de 2017.
- Hernández, Mendizábal- Lilia del C.; Landa Alba-, Suárez-Dorantes Juan, (2009). Captura de carbono por *Cedrela odorata* l. en una plantación de origen genético conocido Foresta

- Veracruzana, Vol. 11, Núm. 1, 2009, pp. 13-18 Universidad Veracruzana México [En línea]. Disponible <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49711999003>. [Fecha de descarga Octubre de 2017].
- IPCC. (2002) Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Cambio climático y biodiversidad. [En línea]. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>. 85 pp. [Descargado Mayo 20 de 2017.]
- Lara Carlos E., Díez María C., Moreno Flavio H . 2008. Memorias Seminario Internacional Bosques Tropicales y Desarrollo. Medellín, Colombia. 2008 118 pp. [En línea]. Disponible en: <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/156.pdf>. [Capturado Mocoa Octubre 15 de 2017].
- Macdiken, K. 1997. A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87 p.
- Ministerio de Medio Ambiente. Grupo de Mitigación y Cambio Climático. [En línea]. Disponible en www.minambiente.gov.co/.../cambio_climatico /.../ 230812. [Descargado.. Octubre de 2017].
- Ordoñez Benjamín Antonio. 2001. Captura de Carbono ante el Cambio Climático. Instituto de Ecología, Xalapa. México, 2001.
- Maidana Pizzurno María. Estimación preliminar del *stock* de carbono en diferentes tipos de bosques en el Parque Nacional Caazapá, departamento Caazapá. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay 2010. [En línea] Disponible en http://aracaria.seam.gov.py/attachments/article/69/tesis_ceciliapizzurno.pdf. [Capturado Mocoa Mayo 25 de 2017]
- Nadler, A.; Meza, A.; Torres, R.; Jara, M. 2001. Medición del carbono almacenado en los bosques de la reserva nacional Malleco, IX región, Chile [En línea]. Disponible en www.uach.cl/procarbano/pdf/simposio_carbono/32_Nadler.PDF. [Consultado en Septiembre de 2017]
- Páez Mendoza C. M. 2014. Estimación de biomasa forestal y capacidad de captura de carbono de las especies forestales *Weinmannia tomentosa* Y *Myrcianthes* sp. Reserva Forestal Protectora el Malmo (vereda Barón Germania. UNAD. Tunja, Boyacá

- Ramírez, Juan Andrés et Rosales Álvarez Ramón. 2009. Análisis económico de la “bio-carbonización” como práctica de manejo agrícola [En línea] Disponible en: <http://www.ibeperu.org/doc/isis/13186.pdf>. Universidad de los Andes. 29 pp.2009. [Descargado Mocoa Mayo 20 de 2017]
- Salati, E. 1990. Los Posible Cambios Climáticos en América Latina y el Caribe y sus Consecuencias. Report # 90-7-1223, Naciones Unidas and Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. Santiago de Chile, 12-14 de Septiembre, 45 pp.
- Salinas, Z.; Hernández, P. 2008. Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía. Turrialba, C.R.: CATIE. 171 p
- Zamora Collazo J Carlos . (2003). Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “La Majada” municipio de Peribán de Ramos, Michoacán 47 pp.<http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/413.pdf> Descargado Mayo 15 de 2017

ANEXOS

79

ANEXO 1. Cuadro.19. Inventario forestal de la especie *Hevea brassiliensis*, Muell.Arg localizada en el Jardín botánico Tropical Amazónico del Instituto Tecnológico del Putumayo

N° de árbol	Especie	Coordenadas	CAP(m)	DAP(m)	Altura (m)		A,Basal	Vol		Vol Comer
					Total	Comer.		M2	M3	
1	Caucho	N 01°06'54" w 076°37'53.3"	0,79	0,25	15	3	0,049	0,570	0,114	
2	Caucho	N 01°06'54.9" w 076°37'52.8"	0,35	0,11	12	8	0,009	0,088	0,059	
3	Caucho	N 01°06'54.0" w 076°37'52.9"	0,57	0,18	15	5	0,025	0,295	0,098	
4	Caucho	N 01°06'53.9" w 076°37'52.5"	1,29	0,41	24	9	0,131	2,451	0,919	
5	Caucho	N 01°06'53.7" w 076°37'52.5"	1,06	0,34	25	18	0,089	1,725	1,242	
6	Caucho	N 01°06'53.5" w 076°37'52.7"	0,44	0,14	10	2,4	0,015	0,119	0,029	
7	Caucho	N 01°06'53.2" w 076°37'52.9"	0,60	0,19	16	4,5	0,028	0,351	0,099	
8	Caucho	N 01°06'53.2" w 076°37'52.4"	0,53	0,17	16	4,5	0,023	0,281	0,079	
9	Caucho	N 01°06'52.8" w 076°37'52.7"	0,60	0,19	10	4,5	0,028	0,219	0,099	
10	Caucho	N 01°06'52.8" w 076°37'52.3"	0,53	0,17	9	7	0,023	0,158	0,123	
11	Caucho	N 01°06'53.4" w 076°37'54.5"	0,80	0,26	18	3,5	0,051	0,711	0,138	
12	Caucho	N 01°06'52.3" w 076°37'52.2"	0,53	0,17	16	10	0,023	0,281	0,176	
13	Caucho	N 01°06'52.4" w 076°37'51.8"	0,44	0,14	15	4	0,015	0,179	0,048	
14	Caucho	N 01°06'52.5" w 076°37'51.8"	0,42	0,14	9	5,5	0,014	0,100	0,061	
15	Caucho	N 01°06'52.1" w 076°37'51.7"	0,44	0,14	8	8	0,015	0,095	0,095	
16	Caucho	N 01°06'52.1" w 076°37'51.7"	0,54	0,17	19	10	0,023	0,346	0,182	
17	Caucho	N 01°06'52.3" w 076°37'51.2"	0,60	0,19	20	12	0,028	0,439	0,263	
18	Caucho	N 01°06'51.0" w 076°37'51.8"	0,85	0,27	16	5	0,057	0,709	0,221	
19	Caucho	N 01°06'51.6" w 076°37'52.2"	0,36	0,12	11	5,5	0,010	0,088	0,044	
20	Caucho	N 01°06'51.4" w 076°37'52.0"	0,45	0,14	20	16	0,016	0,245	0,196	
21	Caucho	N 01°06'51.5" w 076°37'52.0"	1,35	0,43	20	14	0,144	2,247	1,573	
22	Caucho	N 01°06'51.3" w 076°37'52.6"	0,44	0,14	14	10	0,015	0,167	0,119	

23	Caucho	N 01°06'51.6" w 076°37'52.5"	0,61	0,20	15	10	0,030	0,347	0,231
24	Caucho	N 01°06'51.5" w 076°37'52.7"	0,33	0,11	12	8	0,009	0,080	0,054
25	Caucho	N 01°06'51.3" w 076°37'53.1"	0,77	0,25	15	9	0,047	0,547	0,328
26	Caucho	N 01°06'51.5" w 076°37'52.7"	0,38	0,12	10	4,5	0,011	0,087	0,039
27	Caucho	N 01°06'51.8" w 076°37'53.1"	0,36	0,11	13	9	0,010	0,101	0,070
28	Caucho	N 01°06'51.3" w 076°37'53.2"	0,31	0,10	12	8	0,008	0,073	0,049
29	Caucho	N 01°06'51.3" w 076°37'53.2"	0,41	0,13	14	12	0,014	0,148	0,127
30	Caucho	N 01°06'51.6" w 076°37'52.9"	0,58	0,19	18	19	0,027	0,374	0,395
31	Caucho	N 01°06'51.7" w 076°37'52.5"	0,33	0,11	6	80	0,009	0,041	0,546
32	Caucho	N 01°06'52.2" w 076°37'52.8"	0,31	0,10	12	10	0,008	0,073	0,061
33	Caucho	N 01°06'52.1" w 076°37'52.8"	0,62	0,20	16	13	0,030	0,373	0,303
34	Caucho	N 01°06'52.0" w 076°37'53.4"	0,38	0,12	15	12	0,011	0,131	0,105
35	Caucho	N 01°06'52.0" w 076°37'54.0"	0,35	0,11	13	9	0,010	0,097	0,067
36	Caucho	N 01°06'51.8" w 076°37'53.4"	1,39	0,44	18	18	0,152	2,137	2,137
37	Caucho	N 01°06'51.4" w 076°37'53.3"	0,41	0,13	14	12	0,013	0,144	0,123
38	Caucho	N 01°06'51.6" w 076°37'53.1"	0,35	0,11	11	9	0,010	0,084	0,069
39	Caucho	N 01°06'51.6" w 076°37'53.1"	0,38	0,12	10	7	0,011	0,087	0,061
40	Caucho	N 01°06'51.6" w 076°37'53.1"	0,60	0,19	15	11	0,029	0,336	0,246
41	Caucho	N 01°06'52.3" w 076°37'53.5"	0,34	0,11	13	10	0,009	0,090	0,070
42	Caucho	N 01°06'52.5" w 076°37'53.5"	0,30	0,10	9	7	0,007	0,049	0,038
43	Caucho	N 01°06'52.6" w 076°37'53.6"	0,53	0,17	16	14	0,023	0,281	0,246
44	Caucho	N 01°06'52.7" w 076°37'53.8"	1,07	0,34	20	16	0,090	1,405	1,124
45	Caucho	N 01°06'52.6" w 076°37'53.7"	0,57	0,18	6,5	6	0,026	0,131	0,121
47	Caucho	N 01°06'52.7" w 076°37'53.9"	0,39	0,12	16	9	0,012	0,147	0,083
49	Caucho	N 01°06'53.1" w 076°37'53.2"	0,33	0,11	13	10	0,009	0,087	0,067
50	Caucho	N 01°06'53.4" w 076°37'54.0"	0,38	0,12	13	10	0,011	0,114	0,087
51	Caucho	N 01°06'53.3" w 076°37'53.6"	0,39	0,12	13	10	0,012	0,121	0,093
52	Caucho	N 01°06'54.1" w 076°37'53.5"	0,80	0,25	18	3	0,050	0,706	0,118
53	Caucho	N 01°06'54.2" w 076°37'53.5"	0,84	0,27	17	2	0,056	0,742	0,087

54	Caucho	N 01°06'54.9" w 076°37'53.5"	0,55	0,18	20	12	0,024	0,372	0,223
55	Caucho	N 01°06'54.7" w 076°37'53.5"	1,30	0,42	26	3,5	0,134	2,721	0,366
56	Caucho	N 01°06'54.6" w 076°37'53.9"	0,70	0,22	20	2,5	0,039	0,604	0,076
57	Caucho	N 01°06'54.7" w 076°37'57.0"	0,73	0,23	22	6,5	0,042	0,726	0,214
58	Caucho	N 01°06'55.1" w 076°37'53.8"	1,08	0,35	21	2	0,093	1,519	0,145
59	Caucho	N 01°06'54.3" w 076°37'54.4"	0,40	0,13	10	5	0,013	0,100	0,050
60	Caucho	N 01°06'54.6" w 076°37'54.1"	1,13	0,36	22	4,5	0,101	1,732	0,354
61	Caucho	N 01°06'54.7" w 076°37'54.2"	0,33	0,11	13	10	0,009	0,087	0,067
TOTAL				11,14			2,028	28,860	14,618

Fuente. Las autoras

Figura 6. Horno de secado de maderas



Fuente Los autores

Figura 7. Balanza electrónica para pesar las diferentes muestras de los árboles tanto en follaje como probetas de madera.



Fuente Los autores