

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

**"ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CUANTIFICACIÓN DE
CARBONO PARA *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense* y *Cybistax donnell-smithii*
EN BOSQUES NATURALES DE GUATEMALA"**

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

GLENDIA AMARILIS LEE PINTO

En el acto de investidura como

INGENIERA AGRÓNOMA
EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES

En el grado académico de

LICENCIADA

Guatemala, febrero de 2002

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNIFICO
Ing. Agr. EFRAÍN MEDINA GUERRA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. EDGAR OSWALDO FRANCO RIVERA
VOCAL I	Ing. Agr. WALTER ESTUARDO GARCÍA TELLO
VOCAL II	Ing. Agr. MUNUEL DE JESUS MARTÍNEZ OVALLE
VOCAL III	Ing. Agr. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ
VOCAL IV	Prof. ABELARDO CAAL ICH
VOCAL V	Br. AXEL AURELIANO HERRERA PÉREZ
SECRETARIO	Ing. Agr. EDIL RENE RODRÍGUEZ QUEZADA

Guatemala, febrero de 2002

Señores
Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

De conformidad con lo que establece la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

"ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CUANTIFICACIÓN DE CARBONO PARA *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense* y *Cyrtosperma donnell-smithii* EN BOSQUES NATURALES DE GUATEMALA"

presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el presente trabajo merezca su aprobación.

Atentamente,

Glenda Amarilis Lee Pinto

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por permitirme la dicha de existir.

MI MADRE

Gladys Pinto de Lee por la suerte de tenerte, por tus enseñanzas, tu apoyo y paciencia.

MI PADRE

Carlos Lee, quien a pesar de ya no estar entre los vivos, donde quiera que estés sé que estarías orgulloso de mí.

MI HIJA

Marcella Aroch Lee, fuente de mi inspiración.

MIS HERMANOS

Juan Carlos y David, gracias por ser tan buenos hermanos. A Julio Cesar (Q.E.P.D.).

MIS ABUELOS

Juan Angel Pinto y Rosalina Polanco, aquí esta el ansiado título.

MIS TÍOS Y TÍAS

Con mucho cariño y respeto.

MIS PRIMOS Y PRIMAS

Con cariño fraternal y en especial a:
Nancy Lee por todas las vivencias compartidas.

MIS AMIGOS DE SIEMPRE:

Ana Ruiz, Miriam Paz, Cristian de Dios, Eva Galindo, Jenny Díaz y Minerva Samayoa.

MIS AMIGOS DE PROMOCIÓN:

En especial a:
Juan Pablo Marín, José Antonio López, Luis Montes, Jorge Mario Monzón, Rodrigo Arreaga, Gerson Alvarado, María Belén Portillo, Gracias y adelante!!

MIS AMIGOS UNIVERSITARIOS

Mónica Acajabón, Midia Escobar, Ana Mercedes Sánchez, Lorena Córdova, Carmen Dorigoni, William Arreaga, Giovanni García, Gerardo Cáceres, German González, Edgar Bámaca, Juan Pablo Guzmán, Carlos Gordillo, Carlos Soto, Ives Paiz, Cesar Camey, Juan Carlos Hernández, Luis Eduardo Cordón, Jorge Luis Rodríguez, Mynor Díaz. Por tener su gratificante amistad.

MI AMIGO DEL ALMA:

Estuardo Lira, por estar conmigo en las buenas y malas, por tu amistad y amor incondicional.

TESIS QUE DEDICO

A:

Mi bella Guatemala, país de la eterna primavera

Colegio San Pedro y San Pablo

Instituto Víctor Manuel de la Roca

Instituto Guatemalteco Americano -IGA-

La gloriosa y tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala

La Cincuentenaria Facultad de Agronomía

El Instituto Nacional de Bosques -INAB-

El Departamento de Investigación Forestal del -INAB-

Banco de Semillas Forestales -BANSEFOR-

Al área de Ciencias de la FAUSAC, en especial al Coordinador y laboratorista

Al Dr. Edwin Castellanos, investigador de la Universidad del Valle de Guatemala,
por sus valiosos conocimientos

Las Regiones y Subregiones del INAB, que hicieron posible esta investigación

Las fincas La Firmeza, Guaytán, Horizontes, Hacienda San Andrés, La Ceibilla y
Cabán, porque sin su apoyo no hubiera sido posible desarrollar este tema

Todos los trabajadores que colaboraron en la fase de campo

Las personas que contribuyeron en mi formación profesional

AGRADECIMIENTOS

El autor desea reconocer el esfuerzo y dedicación de las personas que participaron en la elaboración, ejecución y corrección de la presente investigación procurando la calidad científica y profesional.

Al Instituto Nacional de Bosques -INAB- en especial a la Unidad de Fomento y Desarrollo Forestal, así como al Departamento de Investigación Forestal de dicha Institución. Por su apoyo al sector forestal de Guatemala y por la capacidad técnica y científica con la que cuentan para hacer realidad su objetivo de "Mas bosques para el desarrollo de Guatemala".

Al Ing. Agr. Guillermo Ruano Chamalé, por su apoyo en la fase de campo de esta investigación.

A los evaluadores del trabajo de tesis: Ing. Agr. Miguel Morales Cajax, Ing. Agr. José Miguel Leiva, Ing. Agr. Eugenio Orozco, Dr. Ariel Ortiz y muy especialmente a mis asesores personales Ing. Agr. Edwin Cano e Ing. Agr. Roderico Estrada Muy, por la paciencia, conocimientos y apoyo incondicional.

A la Inga. Agra, Lorena Córdova por su colaboración en las múltiples etapas de la investigación y por su amistad.

A mis padrinos de graduación: Ing. Byron Ruiz, Ing. Agr. Giovanni García, Ing. Agr. RNR Guillermo Ruano e Inga. Agra. Midia Escobar.

Glenda A. Lee Pinto
Carné: 9110703

CONTENIDO

Página

	ÍNDICE DE CUADROS	i
	INDICE DE FIGURAS	ii
	RESUMEN	v
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
3.	MARCO TEÓRICO	3
3.1	MARCO CONCEPTUAL	3
3.1.1	DEFINICIONES.....	3
3.1.2	PROCEDIMIENTO LÓGICO DE ANÁLISIS CON STATISTICA	7
3.2	MARCO REFERENCIAL	9
3.2.1	DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES FORESTALES EN ESTUDIO.....	9
	A. <i>Vochysia guatemalensis</i>	9
	B. <i>Calophyllum brasiliense</i>	10
	C. <i>Cydistax donnell-smithii</i>	11
3.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO.....	13
3.2.3	ESTUDIOS SIMILARES REALIZADOS EN GUATEMALA Y EN OTROS PAÍSES.....	14
3.2.3.1	OPORTUNIDAD DE NEGOCIO	18
3.2.3.2	PROBLEMÁTICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO	18
3.2.3.3	GUATEMALA Y CENTROAMÉRICA EN EL CONTEXTO	19
3.2.3.4	VULNERABILIDAD DE LOS RECURSOS FORESTALES AL CAMBIO CLIMÁTICO	19
3.2.3.5	CONVENCIÓN MARCO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO	19
3.2.3.6	REUNIÓN DE BONN (COP 6 BIS)	20
3.2.3.7	PRINCIPALES OPCIONES DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN LOS RECURSOS.....	21
3.2.3.8	NECESIDADES NACIONALES	21
4.	OBJETIVOS	22
4.1	OBJETIVO GENERAL	22
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
5.	METODOLOGÍA	23
5.1	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LAS ESPECIES Y ÁREAS DE ESTUDIO.....	23
5.2	CARACTERÍSTICAS PARA SELECCIÓN DE RODALES.....	23
5.3	CARACTERÍSTICAS PARA SELECCIÓN DE ÁRBOLES	23
5.4	TIPO DE MUESTREO	24
5.5	UNIDADES DE MUESTREO.....	24
5.6	TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	24
5.7	VARIABLES.....	24
5.7.1	VARIABLES PRIMARIAS.....	24
5.7.2	VARIABLES DERIVADAS.....	24
5.8	CLASES DIAMÉTRICAS.....	24
5.9	FASE DE CAMPO.....	25
5.9.1	MEDICIÓN DEL DAP.....	25

5.9.2	MEDICIÓN DE LA ALTURA.....	25
5.9.3	DERRIBO DEL ÁRBOL.....	25
5.9.4	MEDICIÓN DE LONGITUD.....	25
5.9.5	DESRAMADO.....	25
5.9.6	SEPARACIÓN DE RAMAS Y RAMILLAS	25
5.9.7	MEDICIONES EN EL FUSTE.....	26
5.9.8	MUESTREO DE HOJAS.....	26
5.9.9	MUESTREO DE RAMAS Y RAMILLAS	26
5.10	FASE DE LABORATORIO.....	27
5.10.1	SECADO DE SUBMUESTRAS.....	27
5.10.2	ANÁLISIS DE SUBMUESTRAS DE RODAJAS DE FUSTES.....	27
5.10.2.1	ANÁLISIS DE BIOMASA.....	27
5.10.2.2	ANÁLISIS DE VOLUMEN.....	28
5.10.3	ANÁLISIS DE SUBMUESTRAS POST-SECADO.....	29
5.10.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
5.10.4.1	DENSIDAD ESPECÍFICA DE MADERA.....	29
5.10.4.2	PESO FRESCO INICIAL.....	29
5.10.4.3	CONTENIDO DE HUMEDAD, BASE PESO SECO.....	29
5.10.4.4	CONTENIDO DE HUMEDAD, BASE PESO FRESCO.....	30
5.10.4.5	VOLUMEN DE TROZA DE MADERA.....	30
5.10.4.6	CUBICACIÓN DEL FUSTE.....	30
5.10.4.7	DENSIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO DEL FUSTE.....	30
5.10.4.8	PESO SECO TOTAL DEL FUSTE.....	30
5.10.4.9	PESO FRESCO DEL FUSTE.....	30
5.10.4.10	PESO SECO DEL FOLLAJE.....	31
5.10.4.11	PESO SECO DE RAMAS Y RAMILLAS.....	31
5.10.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
5.10.5.1	ANÁLISIS DE REGRESIÓN.....	31
5.10.5.2	FACTOR O ÍNDICE DE EXPANSIÓN.....	32
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1	CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO.....	33
6.1.1	San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	33
6.1.2	Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	33
6.1.3	Palo Blanco (<i>Cybistax donnell-smithii</i>)	33
6.2	ECUACIONES DE BIOMASA.....	34
6.3	FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA.....	53
6.4	CUANTIFICACIÓN DE CARBONO.....	54
7.	CONCLUSIONES	58
8.	RECOMENDACIONES	59
9.	BIBLIOGRAFÍA	60
10.	ANEXO	62

ÍNDICE DE CUADROS

Página

1.	Modelos generados para estimar biomasa total arriba del suelo.....	vi
2.	Principales características ambientales de los sitios de muestreo.....	13
3.	Emisiones de gases de efecto de invernadero (Giga gramos, miles de toneladas.....)	19
4.	Tamaño de la muestra utilizada en función de la Categoría diamétrica.....	25
5.	Clasificación de ramas y ramillas.....	25
6.	Modelos exponenciales generados para estimar Biomasa de las especies estudiadas.....	35
7.	Matriz de datos para relacionar DAP/biomasa y altura/biomasa para la especie Palo Blanco (<i>Cybastax donnell-smithii</i>).....	38
8.	Matriz de datos para relacionar DAP/biomasa y altura/biomasa para la especie Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>).....	41
9.	Matriz de datos para relacionar DAP/biomasa y altura/biomasa para la especie San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>).....	44
10.	Matriz de datos para comparación de ecuaciones para la especie Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	46
11.	Matriz de datos para comparación de ecuaciones para la especie San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	48
12.	Matriz de datos para comparación de ecuaciones para la especie Palo Blanco (<i>Cybastax donnell-smithii</i>).....	50
13.	Factor o índice de expansión de biomasa por especie.....	54
14.	Carbono calculado con analizador elemental de Perkin Elmer para las especies en la investigación.....	55
15.	Estimación de Carbono por clase diamétrica	55
16.	Estimación de Carbono para la especie Palo Blanco <i>Cybastax donnell-smithii</i> en toneladas de carbono por árbol.....	62
17.	Estimación de carbono para la especie Santa María <i>Calophyllum brasiliense</i> en toneladas de carbono por árbol.....	63
18.	Estimación de carbono para la especie San Juan <i>Vochysia guatemalensis</i> en toneladas de carbono por árbol.....	64
19.	Cálculo del factor o índice de expansión para Santa María <i>Calophyllum brasiliense</i>	65
20.	Cálculo del factor o índice de expansión para San Juan <i>Vochysia guatemalensis</i>	66
21.	Cálculo del factor o índice de expansión para Palo Blanco <i>Cybastax donnell-smithii</i>	67
22.	Análisis de Carbono de muestras de las tres especies Investigadas, generado en la Universidad de Indiana, Estados Unidos.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Relación DAP/Biomasa para Palo Blanco (<i>Cybistax donnell-smithii</i>)	36
2. Relación Altura/Biomasa para Palo Blanco (<i>Cybistax donnell-smithii</i>).....	37
3. Relación DAP/Biomasa para Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>).....	39
4. Relación Altura/Biomasa para Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	40
5. Relación DAP/Biomasa para San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	42
6. Relación Altura/Biomasa para San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	43
7. Comparación de ecuaciones de biomasa para la especie Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	45
8. Comparación de ecuaciones de biomasa para la especie San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	47
9. Comparación de ecuaciones de biomasa para la especie Palo Blanco (<i>Cybistax donnell-smithii</i>)	49
10. Relación de biomasa real y biomasa estimada para La especie Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	51
11. Relación de biomasa real y biomasa estimada para La especie San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	52
12. Relación de biomasa real contra biomasa estimada para La especie Palo Blanco (<i>Cybistax donnell-smithii</i>).....	52
13. Relación de biomasa real y biomasa estimada para Las tres especies.....	53
14. Muestreo del árbol	75

ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CUANTIFICACIÓN DE CARBONO PARA *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense* y *Cybistax donnell-smithii* EN BOSQUES NATURALES DE GUATEMALA

PRELIMINARY STUDY FOR BIOMASS ESTIMATION AND CARBON QUANTIFICATION FOR *Vochysia guatemalensis*, *Calophyllum brasiliense* and *Cybistax donnell-smithii* IN GUATEMALAN NATURAL FORESTS

RESUMEN

Los países industrializados son los principales causantes del incremento de la concentración de los gases de efecto de invernadero en la atmósfera, esta afirmación no excluye a Guatemala ya que sus procesos industriales, la deforestación y otras actividades contribuyen al deterioro ambiental y a la emisión de gases de efecto de invernadero a la atmósfera.

El Protocolo de Kyoto (1997) es una herramienta que estableció ciertos mecanismos para mitigar el aumento de la concentración de los gases de efecto de invernadero; uno de ellos es el MDL o Mecanismos de Desarrollo Limpio, en donde se apoya financieramente el desarrollo de proyectos de reducción o desplazamiento de emisiones de gases de efecto invernadero entre una entidad perteneciente a un país desarrollado y otra entidad perteneciente a un país no desarrollado que no tienen la obligación de reducir sus emisiones.

Para agosto de 1999, Guatemala tenía un grupo de trabajo que concentró a desarrolladores de proyectos en el sector de energía, quienes identificaron cuatro proyectos, dos hidroeléctricos y dos geotérmicos que tienen a la fecha estudios de prefactibilidad y factibilidad. Así mismo existen identificados cinco proyectos de uso del suelo en materia de agroforestería, plantaciones, reforestación y conservación. Uno de esos proyectos está en formulación, otros se encuentran en factibilidad financiera otros en perfil y otros en prospección (24). A nivel mundial los proyectos que se han promovido giran en torno al tema de energía renovable y unos dos en materia forestal, ya que países como Costa Rica hay incursionado en este tema. Guatemala ya inició algunas negociaciones con el tema de energía renovable (24).

En Guatemala únicamente se cuenta con una estimación preliminar de la fijación de Dióxido de Carbono (CO₂) en los bosques (PAFG, 1998), así como de un Inventario de gases de efecto de invernadero (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2001). Sin embargo, la información utilizada para estimación de biomasa en bosques de Guatemala ha sido hecha a partir de modelos desarrollados en otros países; es por eso que para Guatemala es importante contar con modelos propios de especies forestales que permitan estimar la biomasa presente en sus bosques. Se realizó una investigación en bosques naturales de Guatemala con tres especies de latifoliadas que son: San Juan (*Vochysia guatemalensis*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*). Las especies de latifoliadas seleccionadas en este trabajo de

investigación, son de importancia económica y forestal para Guatemala y el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, no solo por sus características de rápido crecimiento sino también por los registros que el Programa de Incentivos Forestales -PINFOR- indica desde su implementación en 1997.

La información generada permitió sentar las bases para poder estimar biomasa, mediante modelos establecidos para las especies de latifoliadas localizadas en Guatemala; así mismo, cuantificar el Carbono utilizando los factores de contenido de carbono según muestras analizadas con un Analizador Elemental (CCHN) de Perkin Elmer.

El estudio utilizó una metodología destructiva que permitió obtener las muestras de campo para poder estimar la biomasa total arriba del suelo para cada árbol estudiado. Se extrajeron submuestras de los estratos fuste, hojas, ramas y ramillas que fueron sometidas a un proceso de secado en hornos para obtener su peso seco y finalmente ordenar, tabular y analizar los datos para generar los modelos por especie y uno general para latifoliadas. Se emplearon 20 árboles por especie haciendo un total de 60 unidades de muestreo; a cada cual se le tomó 3 submuestras de los 4 estratos (se tomó en cuenta como un estrato adicional la corteza), haciendo un total de 900 submuestras procesadas y evaluadas durante toda la investigación. El tiempo transcurrido para la investigación con sus fases de campo, laboratorio y gabinete fue de 15 meses.

En el cuadro 1 se presentan los modelos generados para estimar la biomasa total arriba del suelo para las especies en estudio.

Cuadro 1. Modelos generados para estimar biomasa total arriba del suelo.

ESPECIE	MODELO EXPONENCIAL	R ²
Palo Blanco (<i>Cydistax donnell-smithii</i>)	Biomasa = $e^{(1.469255+0.000914 \text{ DAP} + 0.470835 \text{ altura}-0.013751 \text{ altura}^2 + 0.000676 \text{ DAP}^2)}$	91%
Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	Biomasa = $e^{(3.8926 + 0.03825 \text{ DAP} + 0.06518 \text{ altura})}$	97%
San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	Biomasa = $e^{(4.420177+0.061182\text{DAP}-0.134815 \text{ altura} + 0.004806 \text{ altura}^2)}$	80%
Latifoliadas	Biomasa = $e^{(3.852749+0.086911 \text{ DAP}-0.042662\text{altura}-0.000406\text{DAP}^2+0.002021 \text{ altura}^2)}$	89%

Biomasa = kilogramos

DAP = cm

Altura = m

Los modelos anteriores permiten estimar la biomasa de las especies investigadas en el presente estudio. Con el dato de biomasa se puede cuantificar el carbono que un árbol puede fijar al multiplicar la biomasa por factores de 0.4555 para *Cydistax donnell-smithii*, 0.4860 para *Calophyllum brasiliense* y 0.4488 para *Vochysia guatemalensis*. Dichos factores corresponden al Carbono presente en la especie toda vez se ha removido el agua.

1. INTRODUCCIÓN

El constante deterioro del ambiente ocasionado por la concentración de gases como Dióxido de Carbono, Metano y otros que se emiten a la atmósfera como resultado de la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón), procesos industriales y otros, han obligado a los países desarrollados a mitigar o reducir sus emisiones a la atmósfera, ya que de no hacerlo el incremento de estos gases podría traer consecuencias drásticas al ambiente al provocar un cambio de clima irreversible.

La venta de Carbono fijado o no emitido, proveniente de países en desarrollo, es una de las herramientas que se están promoviendo actualmente, para que los países industrializados que tienen la obligación de mitigar o reducir el impacto de la emisión de gases puedan hacerlo al adquirir los créditos por el Carbono fijado o no emitido según la índole de los proyectos que se negocien (plantaciones forestales, energía renovable, cambio del uso del suelo); este tipo de proyectos encajan en los llamados Mecanismos de Desarrollo Limpio -MDL- (24) establecidos en el Protocolo de Kyoto (1997).

Las plantaciones forestales han sido sugeridas como alternativas para la fijación de Carbono por ser ecosistemas cuyo manejo se orienta a maximizar el volumen en madera por unidad de área, lo que da como resultado una fijación de Carbono elevada (10).

Particularmente en materia forestal, la forma de estimar el Carbono fijado ha sido a través del uso de ecuaciones de cuantificación de biomasa y han sido diseminadas por FAO según la publicación "A Primer for Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests" escrito por Sandra Brown en 1996 (5). No obstante, en Guatemala no se han desarrollado estudios específicos con el fin de estimar la biomasa que genera un bosque. Además, estadísticamente no es válido utilizar ecuaciones estimadas con base en muestras de poblaciones de otros países debido a la variabilidad de condiciones tanto físicas como ambientales de cada país.

En la presente investigación se hizo una cuantificación de biomasa total arriba del suelo en tres especies de bosques naturales de latifoliadas: San Juan (*Vochysia guatemalensis*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*). Una vez estimados los modelos para cada especie, se pudo determinar los factores de índices de expansión, los cuales indicaron el comportamiento de la biomasa total. Finalmente, el Carbono fijado por el bosque se obtuvo al multiplicar la ecuación de biomasa por un factor estándar referido a la materia orgánica, proporcionando el contenido de Carbono por hectárea.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El calentamiento global es un fenómeno provocado por el incremento del efecto de invernadero; dicho efecto por sí solo no implica ninguna amenaza para la vida en la tierra. Sin embargo, el problema se da debido al incremento de las actividades humanas tales como la deforestación, el uso de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) y actividades industriales, entre otras. Estas actividades provocan un aumento en la concentración de gases al ambiente como Dióxido de Carbono (CO_2), Vapor de Agua (H_2O), Metano (CH_4), Óxidos Nitrosos (N_2O), Cloro-Fluoro-Carbonos (CFC'S), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO), Ozono Troposférico (O_3), entre otros. Esta condición propicia una mayor capacidad de atrapar calor y por consiguiente un aumento en la temperatura del planeta (10).

Al haber un calentamiento global, se podría provocar un "cambio climático" que traería como consecuencias desastres para la humanidad como inundaciones, sequías, elevación de la temperatura en el ámbito mundial, pérdida de la biodiversidad, desprendimiento de los glaciares; así como daños para los humanos al propagarse enfermedades y plagas que afectarían no solo al ser humano, sino también a las producciones de las cosechas y una serie de problemas posteriores. Actualmente, los países más industrializados son los mayores causantes del incremento de la concentración de los gases de efecto de invernadero en la atmósfera y por tal razón están obligados a reducir o mitigar el daño que provocan al ambiente. El Protocolo de Kyoto (1997) estableció ciertos mecanismos para mitigar el daño ocasionado; uno de ellos es el MDL o Mecanismos de Desarrollo Limpio, que apoyan financieramente el desarrollo de proyectos de reducción o desplazamiento de emisiones de gases de efecto invernadero entre una entidad perteneciente a un país desarrollado y otra entidad perteneciente a un país no desarrollado (24).

Existen algunas ecuaciones para estimar el Carbono fijado (bosques, suelo) y evitado (energía limpia: hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica y biomasa). Para el caso de la cuantificación del Carbono fijado por bosques de especies de latifoliadas, Guatemala no cuenta con ecuaciones específicas, más bien se han utilizado ecuaciones que fueron generadas con base en mediciones realizadas principalmente en el Sureste de Asia; también existen algunas aproximaciones realizadas en Puerto Rico, Brasil y Costa Rica. Dichas ecuaciones evidentemente fueron generadas bajo características especiales para los bosques de esos países y utilizarlas para cuantificar Carbono fijado en los bosques de latifoliadas en Guatemala podría implicar un grave error, pues en las ecuaciones no se consideran las condiciones propias de este país ni de las características particulares de las especies.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 DEFINICIONES

- A) Dióxido de Carbono:** es generado principalmente por combustión de combustibles fósiles a nivel industrial, vehicular y agrícola. El exceso de Dióxido de Carbono (CO_2) es responsable del "Efecto de Invernadero", por el cual la temperatura en el globo terrestre tiende a aumentar y a no ser estable, lo que podría ocasionar desertificación, aumento del nivel del mar, inmersión de islas y costas y otras catástrofes climatológicas (3).
- B) Monóxido de Carbono:** se obtiene por combustión incompleta de combustibles fósiles y se acumula en las urbes metropolitanas por ausencia de corrientes de aire, por alta concentración de fuentes emisoras y por la baja densidad de vegetación y suelo descubierto. Es un gas venenoso, incoloro, inodoro e insípido, que al ser inhalado obstaculiza la capacidad de la sangre para absorber el Oxígeno, lo cual afecta la facultad de ver, percibir y pensar, los reflejos se tornan más lentos, causa somnolencia e incluso inconsciencia y a veces puede causar la muerte a los humanos cuando son expuestos a concentraciones mayores a 750 ppm (partes por millón), ya que la sangre tiene una afinidad por el CO de 210 a 240 veces mayor que por el Oxígeno. En las embarazadas pone en peligro el crecimiento y desarrollo mental del feto (3).
- C) Metano CH_4 :** el metano, producido mayoritariamente en la degradación microbiana de compuestos orgánicos bajo condiciones anaeróbicas, es el segundo gas en importancia que interviene en el efecto invernadero del planeta. Su potencial de absorción de rayos infrarrojos procedentes de la tierra es 11 veces superior a la del Dióxido de Carbono (CO_2). Por este motivo, a pesar de su baja concentración en la atmósfera (1.7 ppm frente a 334 ppm de CO_2), el CH_4 contribuye en aproximadamente 17% al calentamiento actual del planeta (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990). Trabajos recientes muestran que el incremento de este gas en la atmósfera, en torno al 1% anual, puede estar parcialmente producido por un descenso de la capacidad de oxidación en los suelos (Ojima et al., 1993) (22).
- D) Oxido Nitrroso N_2O :** es otro gas implicado en el efecto invernadero del globo. Se encuentra en la atmósfera con una concentración media de 350 ppb (que aumenta en 0.2-0.3% al año) y tiene un potencial de absorción de rayos infrarrojos 180 veces superior a la del CO_2 .

Pero además, este gas también contribuye a la destrucción de la capa de ozono de la estratósfera (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990). El Óxido Nitroso se produce de forma natural en los suelos a través de la nitrificación y la desnitrificación. Aunque el conocimiento sobre las emisiones de Óxido Nitroso desde el suelo es todavía incompleto, diferentes estudios muestran que el manejo intensivo de los suelos es uno de los motivos del actual aumento del nivel de Óxido Nitroso en la atmósfera (Duxbury et al., 1993) (22).

- E) **Vapor de Agua H_2O :** es uno de los principales actores que producen el efecto de invernadero (GEI). Su fuente natural es por la evaporación desde mares, nieves y aguas superficiales (9).
- F) **Clorofluorocarbonos (CFCs):** es otra gama de gases que incluso se utiliza como sustituto al HFCs que es otro gas de menor poder. No existe como fuente natural, pero como fuente artificial, proviene de productos para la refrigeración, propelentes de envases pulverizadores (aerosoles) (9).
- G) **Biomasa:** peso (o estimación equivalente) de la materia acumulada por actividad biológica, por encima y por debajo del suelo (13). La biomasa es aquella que se obtiene de la vegetación, cultivos acuáticos, residuos forestales y agrícolas, urbanos, desechos animales, etc. Genéricamente las fuentes de biomasa se pueden clasificar como primarias (recursos forestales) y secundarias (básicamente los residuos como aserrín, residuos de las hojas de árboles, los agrícolas, pajas rastrojos y los urbanos) (8).
- H) **Factor o índice de Expansión de Biomasa:** es una relación matemática entre la biomasa total y la biomasa del fuste, que sirve para corregir datos de inventarios forestales (5).
- I) **Bosque:** ecosistema compuesto predominantemente por árboles y otra vegetación leñosa que crecen juntos de manera más o menos densa (1).
- J) **Bosques naturales:** áreas forestales en las que están presentes las características principales y los elementos claves de los ecosistemas naturales, tales como la complejidad, estructura y diversidad (12).

- K) Bosques Primarios:** un ecosistema caracterizado por la abundancia de árboles maduros, relativamente no afectados por actividades humanas. Los impactos humanos en estas áreas forestales han sido normalmente limitados a niveles bajos de caza artesanal, pesca y cosecha de productos forestales y, en algunos casos, a niveles bajos de densidad, de agricultura migratoria con periodos de descanso prolongados. Tales ecosistemas son llamados "maduros", "viejos", o "bosques vírgenes" (12).
- L) Bosques Secundarios:** los ecosistemas que se regeneran luego de disturbios sustanciales (inundaciones, fuegos, cambios en el uso del suelo o extracciones de madera extensivas e intensivas), caracterizados por la escasez de árboles maduros y por la abundancia de especies pioneras, al igual que por rebrotes en el sub piso densos y plantas herbáceas. Aunque los bosques secundarios generalmente llegan a su punto máximo de acumulación de biomasa dentro de un ciclo de aprovechamiento, la transición hacia un bosque primario usualmente requiere de varias rotaciones de distintas duraciones, dependiendo de la severidad del disturbio original. La transformación irreversible de los suelos subyacentes y del ciclo de nutrientes ocasionados por el uso crónico o intenso pueden hacer imposible el retorno al bosque primario original (12).
- M) Producción Primaria Bruta:** es la energía fijada como biomasa en la fotosíntesis. En lo relativo a las plantas terrestres la forma directa de calcular la producción primaria es medir el cambio en las concentraciones CO_2 u O_2 en el aire que rodea a las plantas. En la mayor parte de las investigaciones se mide la absorción de CO_2 en una rama o una planta completa. Durante la luz diurna, la absorción de CO_2 es una medida de la producción neta, ya que la fotosíntesis y la respiración operan en forma simultánea, mientras que durante la noche únicamente tiene lugar la respiración, y la cantidad de CO_2 liberada es susceptible de empleo para estimar la respiración (19).
- N) Producción Primaria Neta:** es la energía fijada como biomasa en la fotosíntesis menos la energía perdida en la respiración. La fotosíntesis y la respiración resultan afectadas por la temperatura, y la primera, también por la intensidad de la luz. Los cambios cotidianos en la temperatura de la hoja y la intensidad de la luz determinan la producción neta de cada día (19).
- O) Carbono Potencial:** se refiere al Carbono máximo o Carbono real que pudiera contener un determinado tipo de vegetación, asumiendo una cobertura total y original (2).

- P) Carbono Real:** se refiere al Carbono almacenado considerando las condiciones actuales de cobertura en cuanto al área y el estado sucesional; bosque primario, bosque secundario, potrero (2).
- Q) Carbono Fijado:** se refiere al flujo de Carbono de la atmósfera a la tierra producto de la recuperación de zonas (regeneración) previamente deforestadas, desde pastizales, bosques secundarios hasta llegar a bosque climax. El cálculo por lo tanto está definido por el crecimiento de la biomasa convertida a Carbono (2).
- R) Carbono no Emitido:** se refiere al Carbono salvado de emitirse a la atmósfera por un cambio de cobertura. Se fundamenta en un supuesto riesgo que se tiene de eliminación de los bosques y por ende de emisión de Carbono. El valor estimado considerando el Carbono real y una tasa de deforestación (2).
- S) Efecto de Invernadero:** se entiende por efecto de invernadero al cambio climático provocado por un aumento de la temperatura ambiental a consecuencia de una mayor concentración de Dióxido de Carbono (CO_2) en la atmósfera, que aunque permite que la radiación solar llegue a la tierra, impide que parte de aquella pueda volver al espacio, siendo reflejada nuevamente y, por lo tanto, facilitando un aumento de temperatura. La intensa utilización de combustibles fósiles es la principal causa del aumento del efecto de invernadero (11). Este es un efecto natural que mantiene la tierra a una temperatura promedio arriba del punto de congelación del agua y permite la vida tal como la conocemos (13).
- T) El Efecto de Invernadero y el Cambio Climático:** la tierra está cubierta por una capa de gases que deja entrar energía solar, la cual calienta la superficie de la tierra. Algunos de los gases en la atmósfera -llamados los gases de efecto invernadero (GEI)- impiden el escape de este calor hacia el espacio. Pero, las actividades humanas están produciendo un exceso de gases de efecto invernadero (principalmente Dióxido de Carbono, Metano y Óxido Nitroso) que están potencialmente calentando el clima de la tierra, un proceso conocido como cambio climático. Por ejemplo, las concentraciones atmosféricas de Dióxido de Carbono, el GEI antropogénico más importante debido a su volumen, ha aumentado en un 30% desde los tiempos pre-industrializados, con un aumento concurrente de las temperaturas globales promedios entre 0.3 y 0.6°C (13).

- U) **Protocolo de Kyoto:** es un tratado internacional que compromete a los países industrializados a reducir las emisiones de gases que provocan el efecto de invernadero para la próxima década. Los países en desarrollo no están comprometidos a reducir sus emisiones de gases de efecto de invernadero. Sin la participación de los países en desarrollo, el impacto de la implementación del Protocolo de Kyoto en la reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero será insignificante (7).

3.1.2 PROCEDIMIENTO LÓGICO DE ANÁLISIS (STATISTICA®):

- a) **STATISTICA** es un sistema comprensible, que integra análisis de datos, gráficas, manejo de base de datos y todo un sistema de aplicaciones comunes desarrolladas a partir de la presentación de una amplia selección de procedimientos básicos y aspectos analíticos avanzados para exploración de datos y científicos (25).
- b) **Regresión Múltiple:** El propósito general de la regresión múltiple es analizar la relación entre varias variables independientes o predictoras y una variable o criterio dependiente. Este módulo trabaja con regresión lineal múltiple de mínimos cuadrados y calcula en forma detallada estadísticas para residuales. STATISTICA calcula todos los resultados estándares de las estadísticas de regresión múltiple, y ejecuta extensivos análisis de residuos (25).
- c) **Modelos Lineales y no lineales generalizados:** Este módulo provee una generalización del modelo de regresión lineal tal como 1) efectos no lineales, así como lineales, que pueden probarse 2) para variables predictoras categóricas, como también para variables predictoras continuas, usando 3) cualquier variable dependiente cuya distribución siga alguna representativa de la familia exponencial de distribuciones, así como para cualquier variable dependiente distribuida normalmente (25).
- d) **Estimación no lineal:** La estimación no lineal involucra encontrar la mejor relación de ajuste entre valores de la variable dependiente y los valores de la gama de una o mas variables independientes (se usa tanto en prueba de hipótesis como en métodos exploratorios). Se puede especificar cualquier tipo de modelo al escribir en la respectiva ecuación dentro de la edición de la ecuación (en el programa). Las ecuaciones pueden incluir operaciones lógicas; además, modelos de regresión discontinuas y también se pueden estimar modelos que incluyen variables

indicadoras. Las ecuaciones también pueden incluir una amplia selección de funciones de distribución y funciones acumulativas de distribución (25).

Los modelos se ajustan usando mínimos cuadrados o estimación de máxima verosimilitud, o cualquier función que el usuario especifique. Cuando se usan los criterios de mínimos cuadrados, los algoritmos de Levenberg-Marquardt y Gauss-Newton, pueden usarse para estimar los parámetros para problemas de regresión lineal y no lineal. Se tiene control total de todos los aspectos de los procedimientos de estimación (por ejemplo, valores de inicio, intervalo entre valores, criterios de convergencia, etc.). Los modelos de regresión no lineal mas comunes están predefinidos en el módulo de **Estimación no lineal**, y se pueden escoger con solo usar los comandos del menú. Dichos modelos de regresión incluyen el modelo de regresión exponencial. Los resultados estándares no lineales incluyen los parámetros estimados y su error estándar, la matriz de varianza/covarianza de los parámetros estimados, los valores predichos, residuos y la medida apropiada de "Bondad de ajuste" (25).

- e) **Mínimos cuadrados:** La estimación de mínimos cuadrados, se orienta a minimizar la suma de la desviación estándar de los valores observados para la variable dependiente de lo predicho por el modelo (25).
- f) **Máxima verosimilitud:** Una alternativa para la función de pérdida de mínimos cuadrados, es maximizar la función de verosimilitud o verosimilitud logarítmica (también reducir la función de verosimilitud logarítmica negativa: el término máxima verosimilitud fue usado por primera vez por Fisher, 1922) en términos generales, la función de verosimilitud se define como:

$$L = F(Y, Modelo) = \prod_{i=1}^n \{p[y_i, parametros(x_i)]\}$$

En teoría, se puede calcular la probabilidad (L, la verosimilitud) de los valores específicos de la variable dependiente que intervienen en la muestra, dado el modelo de regresión respectivo. Asumiendo que todas las observaciones son independientes entre ellas, esta verosimilitud es la suma geométrica ($\prod$, a través de $i = 1$ a los n casos) de probabilidades para cada observación individual (i) de que

ocurra, dado el modelo respectivo y parámetros para los valores de "x". (la suma geométrica significa que se multiplicarán las probabilidades individuales a través de los casos). También es común expresar esta función como un logaritmo natural, en tal caso, la suma geométrica se convierte en una suma aritmética regular (Σ , a través de $i = 1$ para n casos) (25).

Dado el modelo respectivo, a mayor verosimilitud del modelo, mayor es la probabilidad de ocurrencia en la muestra de los valores de la variable dependiente. Por lo tanto, a mayor verosimilitud, mayor es el ajuste del modelo para la base de datos (25).

- g) **Regresión no lineal ajustada:** Se utiliza para especificar transformaciones no lineales de las variables. Estas variables transformadas se usan en el análisis de regresión. Las transformaciones disponibles son: X a la segunda, tercera, cuarta o quinta potencia, la raíz cuadrada de X, logaritmo natural de X, logaritmo base 10 de X, logaritmo natural a la potencia de X (e^x), 10 a la potencia de X, y el inverso de X (25).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES FORESTALES EN ESTUDIO

3.2.1.1 *Vochysia guatemalensis*

Género:	Vochysia.
Especie:	<i>Vochysia guatemalensis</i> Donn. Smith.
Nombre Común:	San Juan.
Zona de Vida:	Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) y Bosque muy Húmedo Tropical.
Distribución geográfica:	Está ampliamente distribuida en los bosques húmedos y semidecíduos, desde el sur de México hasta Panamá. Se encuentra en bosques naturales en los departamentos de El Quiché y Alta Verapaz.
Densidad Aparente:	0.4 a 0.47 g/cm ³ .
Tamaño de árboles:	Árbol grande, de hasta 40 m de altura.
Diámetro:	Entre 100 y 180 cm.
Texturas de Suelos:	Franco-arenoso y Franco-arcilloso.
Elevación:	0-900 msnm.
Precipitación:	1,600 a 3,200 mm anuales.

Número de semillas viables en 1 Kg.:3,500 a 4,800.

Cantidad de semilla (1 ha 3x3m): 0.02 Kg.

Productos: Madera para carpintería, construcciones rurales, interiores y postes (17).

- a) **Sistema de Plantación:** La propagación se realiza por semillas en viveros. Estas no necesitan tratamiento pregerminativo. La semilla se siembra en el germinador, en surcos; la germinación tarda de 10 a 18 días y se recomienda el trasplante a las bolsas 10 días después de la germinación. También se puede propagar fácilmente a través de enraizamiento de estacas succulentas (17).
- b) **Plantación:** los distanciamientos más empleados en plantación en bloques, van desde 3x3 m (1,111 arb/ha) hasta 3x4 m (833 arb/ha). Se puede establecer en plantaciones puras y en fajas de enriquecimiento, en sitios erosionados, para la recuperación y protección del suelo (17).
- c) **Rendimientos:** es una especie de rápido crecimiento, con un aumento en diámetro de 3 a 4 cm y 2 a 3 m en altura (17).

3.2.1.2 *Calophyllum brasiliense*

Género: *Calophyllum*

Especie: *Calophyllum brasiliense* var. *rekoi* Standley

Nombre Común: Santa María, Mario, Leche Amarilla.

Distribución geográfica: Desde el sur de México, Belice hasta El Salvador y Panamá. En Guatemala se encuentra en los departamentos de Petén, Izabal, Chiquimula, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu; probablemente en todos los departamentos de la Costa del Pacífico.

Texturas de Suelos: Arcillosos, arcillo-arenosos.

Densidad aparente: 0.45 a 0.60 g/cm³.

Tamaño de árboles: Entre 40 a 45 m.

Diámetro: Hasta 180 cm.

Elevación: 0 a 1,500 mm.

Precipitación: 1,800 a 3,500 mm.

Número de semillas viables en 1 Kg.:415 a 440.

fabricación de gabinetes, muebles finos, pisos mástiles para barcos, postes, carpintería en general y pulpa de papel (7).

- a) **Sistema de Plantación:** se reproducen por semillas, las cuales se recogen durante el mes de febrero y germinan en 15 días, con un porcentaje de germinación del 76%. Las plantas deben cuidarse durante 5 meses, manteniéndolas con suficiente iluminación pero cubiertas de los rayos directos del sol, después de este tiempo se trasladan al campo definitivo, cuando tienen una altura de 25 a 30 cm (7).
- b) **Rendimientos:** en bosque natural, presenta un crecimiento diamétrico en tamaño latizal de 1 mm/año con un 90% de sombra y de 2 mm/año en sitios que presentan un 80% de sombra; los fustales en el tamaño diamétrico anual y mayores de 40 cm presentan 4 mm de crecimiento anual (7).

3.2.1.3 *Cybisfax donnell-smithii* (Rose) Siebert.

Género:	Cybisfax.
Especie:	<i>Cybisfax donnell-smithii</i> (Rose) Siebert.
Nombre Común:	Palo Blanco.
Zona de Vida:	Bosque muy Húmedo Subtropical.
Distribución geográfica:	Se encuentra desde el Sur de México, Guatemala hasta Honduras. En Guatemala esta especie se encuentra distribuida en bosques naturales en los departamentos de Suchitepéquez, Coatepeque y Quetzaltenango (4).
Densidad aparente:	Desde 0.45 a 0.55 g/cm ³ (4).
Tamaño del árbol:	De 20 a 30 m (4).
Diámetro:	100 cm (4).
Texturas de Suelos:	Franco-arenoso, Franco-arcilloso y Franco.
Elevación:	350-1,000 msnm.
Precipitación:	1,250 a 2,500 mm anuales.
pH:	6.5 a 7.2.
Número de semillas viables en 1 Kg.:	30,000.
Cantidad de semilla (1 ha 3x3 m):	0.0037 Kg.
Profundidad del suelo:	125 cm.
Productos que se obtienen:	Madera para muebles.
Principales distribuidores de Semilla:	Bansefor/INAB; Agroselva (16).

- a) **Sistema de Plantación:** el período de germinación de las semillas es de 7 a 21 días en buenas condiciones de humedad. No requiere tratamiento pregerminativo presentando un porcentaje de germinación de 70 a 90%. Las plántulas se producen en bolsas de polietileno, depositando 2 a 3 semillas por bolsa. El tiempo de permanencia en el vivero es de 4 a 5 meses. Se debe disminuir el riego durante el último mes con el objetivo de llevar una planta en condiciones óptimas al lugar definitivo (16).
- b) **Plantación:** 1) **Establecimiento:** el terreno debe tener buena preparación. La época adecuada de plantación es de junio a julio. El número de plantas por hectárea deberá ser entre 1,100 a 1,600 y puede plantarse en asociación con cultivos agrícolas. 2) **Manejo:** se debe ejercer un buen control de malezas durante los primeros tres años. Se harán raleos para permitir el desarrollo de los mejores árboles en número de 4 a 5 dependiendo del espaciamiento inicial de la plantación y de la clase de sitio, dejando al final 150 a 200 árboles/ha (16).
- c) **Período de Rotación:** el período de corte para el Palo Blanco puede estar entre los 25 y 30 años (16).
- d) **Incrementos:** se obtienen incrementos de 2.2 m en altura por año y 2.6 cm en diámetro por año (16).

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Resumen de las principales características ambientales, así como ubicación geográfica y fisiográfica de los sitios en los cuales se llevó a cabo la presente investigación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales características ambientales de los sitios de muestreo.

Especie	Finca	Localización	Ubicación geográfica	Altitud (msnm)	Pptn (mm/año)	Temp. Media anual (°C)	Zona de vida Holdridge	Pend. Media (%)	Topografía	Región Fisiografía
<i>Vochysia guatemalensis</i>	La Firmeza	Morales, Izabal	15°22'41"LN 88°41'45"LO	649	2500	20	bmh-S (c)	45	Quebrada	Tierras Cristalinias
	Guaytán	Aldea Guaytán, Morales, Izabal	88°48'14"LN 15°33'49"LO	100	2136-3284	25	bmh-T	34	Ondulada	Tierras Sedimentarias
	Horizontes	Ixcán Playa Grande, Quiché	15°53'12"LN 90°47'26"LO	200	1826	23	bmh-S (c)	10 a 40	Ondulada	Tierras Sedimentarias
<i>Calophyllum brasiliense</i>	La Firmeza	Morales, Izabal	15°22'41"LN 88°41'45"LO	649	2500	20	bmh-S (c)	45	Quebrada	Tierras Altas Cristalinias
	Hacienda San Andrés	Nueva Concepción, Escuintla	14°11'10"LN 91°18'00"LO	53	1598	26	bmh-S (c)	0-10	Plana	Llanura Costera del Pacifico
<i>Cyrtax donnell-smithii</i>	La Ceibilla	Suchitepéquez	14°13'29"LN 91°34'43"LO	40-45	1200	27	bh-S (c)	0-8	Plana	Llanura Costera del Pacifico
	Cabán	Suchitepéquez	14°12'19"LN 91°35'50"LO	40-45	1200	27	bh-S (c)	0-8	Plana	Llanura Costera del Pacifico

Fuente: Regiones y Subregiones del Instituto Nacional de Bosques -INAB- y Departamento de Sistemas de Información Forestal del INAB.

3.2.3 ESTUDIOS SIMILARES REALIZADOS EN GUATEMALA Y EN OTROS PAÍSES

En enero de 1998 el INCAE (23) realizó la investigación "Potencial de Carbono y absorción de Dióxido de Carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de la República de Guatemala" auspiciado por el proyecto BCIE-INCAE-HIID. Posteriormente en Diciembre de ese mismo año se hizo una revisión de dicha investigación, a cargo de una comisión integrada por cuatro instituciones gubernamentales (INAB, PAFG, CONAMA Y CONAP). Dicho documento presenta las estimaciones sobre el potencial de Carbono, generadas a partir de información recopilada en instituciones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con el sector forestal y de las nuevas políticas en torno al desarrollo forestal del país; así mismo, se utilizó la metodología de los consultores que efectuaron la primera estimación, que se basa en los procedimientos contenidos en el Manual Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, revisado en 1996, al ser el Manual Oficial del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) (23).

Los resultados obtenidos fueron estimaciones globales de la cantidad potencial de Carbono que se podría conservar y captar mediante una serie de proyectos de ordenación forestal de acuerdo a las estrategias de las nuevas políticas forestales, en el periodo comprendido entre los años 1996 (línea base) y 2015. Además, la investigación plantea escenarios para cada país centroamericano, basados en planes nacionales existentes (Honduras y Costa Rica), o bien a través de la actualización de informes existentes (Nicaragua, El Salvador y Panamá) en el resto de países (Guatemala y Belice) se realizó tratando de interpretar las estadísticas existentes y la capacidad técnica, empresarial e institucional existente (23). En esta investigación no se incluyen las ecuaciones utilizadas, ya que para la realización de dicho inventario, se utilizaron diversos escenarios y consecuentemente existe diversidad de información, en todo caso, lo ideal es que el interesado consulte directamente dichos documentos que están disponibles al público.

Otra investigación realizada en torno al tema de fijación de Carbono aunque no en Guatemala, pero de mucha trascendencia global es "Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests", este documento fue elaborado por Sandra Brown del Departamento de Recursos Naturales y Ciencias Ambientales de la Universidad de Illinois, Estados Unidos para FAO 1997. En una primera aproximación, este trabajo resumió ecuaciones publicadas en otros países para estimar densidad de biomasa y formaciones forestales basados en información de inventarios existentes. Usando estimaciones de mediciones de volumen ya existentes por hectárea, luego se convirtieron en densidad de biomasa (t/ha) usando una variedad de aproximaciones. La segunda aproximación estima directamente la densidad de biomasa usando ecuaciones de regresión para

biomasa. Dichas ecuaciones de regresión son funciones matemáticas que relacionan biomasa secada al horno por árbol, como una función de la dimensión del árbol única o combinada. La ventaja del segundo método es que se producen estimaciones de biomasa sin tener que hacer estimaciones de volumen, seguido por la aplicación de factores de expansión para contabilizarlo como componentes de árboles no-inventariados. Las ecuaciones fueron generadas para estimar biomasa para bosques tropicales de Asia, África y América (5). El valor de biomasa en kilogramos es dividido dentro de 1,000 para obtener toneladas. Las toneladas son multiplicadas por 0.5 para obtener Carbono. La razón por la que se multiplica por 0.5 para obtener Carbono se debe a que la literatura indica que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de Carbono, una vez se ha removido el agua (Mac Dicken, 1997). El valor de Carbono es dividido dentro de la superficie de la parcela de muestreo (en m^2) para obtener tC/m^2 . Al multiplicarlo por 10,000 m^2/ha se obtienen tC/ha (13).

Por otro lado Winrock International Institute (1996), propone determinados métodos para hacer inventarios y monitoreo de Carbono. Winrock propone el uso de mapas, fotos aéreas, imágenes satelares e información para definir el área del proyecto. Luego estratifica la población para reducir la variación por vegetación, tipos de árboles comerciales, niveles de producción, etc. Seguidamente instalan parcelas preliminares para estimar el C/ha ; la variación en cada estrato y el costo para medir $C/parcela$. Winrock utiliza también una hoja electrónica (spreadsheet) para estimar el número de parcelas para lograr un nivel de precisión predeterminado y el costo/parcela y el costo total (24).

Los métodos que propone Winrock han sido revisados por varios expertos y se han utilizado en plantaciones, bosques naturales, agroforestería, parcelas permanentes, temporales y transectos todo esto basado en ciencia de forestería, ecología y suelos y se hicieron para lograr niveles de precisión predeterminados a costos mínimos (24).

En septiembre de 1998 la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo con el apoyo del Programa Ambiental Regional para Centroamérica (PROARCA) y Central American Protected Area System (CAPAS) realizaron un Resumen Regional de la investigación "Estimación de los Beneficios Ambientales por no Emisión y Fijación de Carbono (masa aérea) por Acciones de Ordenamiento Forestal en el Área Propuesta del Corredor Biológico Mesoamericano". Dicho estudio hace estimaciones del potencial de la cantidad de Carbono almacenado y captado en el Corredor Biológico Mesoamericano entre los años 1998-2025, bajo tres consideraciones esenciales; (1) el Carbono almacenado en las áreas propuestas del corredor se encuentran

amenazados de deforestación; (2) el reclamo de Carbono fijado por el crecimiento de la cobertura forestal de superficies bajo bosques secundarios, charrales, pastos y/o zonas desnudas de vegetación; (3) por acción directa de la implementación de acciones de ordenamiento forestal en el CBM (Corredor Biológico Mesoamericano) se puede disminuir o impedir el cambio de uso y la reconversión a usos forestales de tierras con aptitud forestal (24).

Los datos de biomasa fueron obtenidos a partir de una revisión de datos de volúmenes forestales a nivel nacional y georeferenciados a zonas de vida, en aquellos casos donde no se encontraron valores se utilizaron los valores promedio mundiales reportados por IPCC, 1996. Utilizaron como marco de referencia de análisis el sistema de zonas de vida de Holdridge. Además se creó un modelo de computadora para correlacionar los datos y derivar los valores de Carbono real o almacenado y la emisión evitada (24).

Los resultados obtenidos muestran un estimado de Carbono almacenado para el CBM de 1.560.471.934 toneladas al año 1992 y una emisión evitada de 36.413.333 toneladas anuales asumiendo acciones de ordenación forestal para disminuir la deforestación del CBM. El potencial de fijación de Carbono se estima en 8.726.732 toneladas por año por recuperación de zonas de aptitud forestal considerando solamente cuatro países ya que en tres de ellos no fue posible hacer estimaciones por carecer de información sobre extensión y ubicación de las áreas potencialmente sujetas a recuperación de la cobertura forestal (24).

Otra investigación realizada en Guatemala, es una tesis de grado hecha por Francisco Alejandro Morales Ralda del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la cual fue concluida en septiembre del año 2000. Esta investigación sirvió para generar una ecuación de biomasa para cuantificar Carbono en plantaciones de hule. Se utilizó la metodología que propone Winrock International Institute (1996), la cual es una metodología destructiva, que consiste en sacrificar árboles, para ser sometidos a mediciones de peso en campo, por lo cual se taló un total de 35 árboles en 5 diferentes plantaciones huleras de la costa sur de Guatemala. Cada árbol se cortó y se pesó por completo (fuste, ramas y follaje), además se obtuvieron submuestras de la parte maderable y del follaje, las que fueron analizadas en el laboratorio para obtener peso seco total de cada árbol (20).

Los datos registrados se ordenaron, tabularon y clasificaron para ser traducidos en información que a través de modelos estadísticos de regresión permitieron generar la ecuación. El modelo que mejor se ajustó a los datos obtenidos durante la investigación fue una ecuación cuadrática, cuyo

coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.97 que indica un excelente ajuste a los datos de campo. La ecuación es la siguiente:

Forma canónica:	$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$	$X =$ diámetro a la altura del pecho (DAP)
Parámetros encontrados:	$Y = 0.75X^2$	$Y =$ Biomasa del árbol de hule en Kg.
	$CF = Y \cdot 0.5$	$CF =$ Cantidad de Carbono fijado (20)

De la investigación se obtuvieron resultados a corto plazo al contar con la fórmula, sin embargo la información que se generó ayudará en el mediano plazo cuando la Gremial de Huleeros y la Fundación Solar concluyan el proyecto, y se logre participar activamente en las mitigaciones de Carbono orgánico a través de proyectos relacionados con la venta de Carbono (20).

En agosto de 1989 Costa Rica realizó una investigación llamada "Desarrollo de una Técnica no-Destructiva para Estimar Biomasa en el Bosque Muy Húmedo Tropical"; fue realizada por el M.Sc. Edgar Ortiz Malavasi. En tal investigación se generaron ecuaciones para predecir biomasa total (peso seco al horno en kilogramos) por árbol y sus distintos componentes para cinco especies seleccionadas del bosque muy húmedo Tropical (bmh-T) de la región de Horquetas de Sarapiquí, Costa Rica. (20) Las cinco especies seleccionadas fueron: a) Gavilán (*Pentaclethra macroloba*), Cedro Macho (*Carapa guianensis*), Botarrama (*Vochysia ferruginea*), Fruta dorada (*Virola* spp) y Canfin (*Tetragastris panamensis*) (18).

Los resultados del estudio permiten calcular que una hectárea de bosque muy húmedo Tropical (bmh-T) tiene capacidad para almacenar 93.5 ton de Carbono. Asimismo, se estima que una plantación forestal de una especie tropical de rápido crecimiento tiene capacidad para fijar 13.8 toneladas de Carbono por año, por lo que, si actualmente las actividades humanas sobre el planeta están liberando en la atmósfera aproximadamente 2.9 billones de toneladas de Carbono por año, 211 millones de hectáreas de nuevas plantaciones estarían en capacidad de fijar igual cantidad de Carbono durante 20 a 30 años (18).

Cubero Moya y Rojas Piedra (10), realizaron un estudio de fijación de Carbono en melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.), en Costa Rica. La cantidad de Carbono almacenado en fustes en las plantaciones al momento de la evaluación para *Gmelina arborea* en el sitio A, a los 4 años es de 11.95 tmC/ha y en el sitio B 3.30 tmC/ha; en biomasa aérea el sitio almacena 13.14 tmC/ha y el sitio B 3.63 tmC/ha. En el caso de *Tectona grandis*, la cantidad de Carbono almacenado en fustes en las plantaciones a los 5 años, en el sitio

A fue de 16.47 tmC/ha y en el sitio B 7.17 tmC/ha; en biomasa aérea el sitio A almacena 18.11 tmC/ha y el sitio B 7.88 tmC/ha. La cantidad de Carbono almacenado en fustes en las plantaciones para *Bombacopsis quinata* a la edad de 5 años en el sitio A fue de 11.95 tmC/ha, en biomasa aérea el sitio A almacena 13.15 tmC/ha; esta especie se evaluó solamente en un sitio. En las conclusiones de su trabajo exponen que la fracción de carbono reportada varió dependiendo del sitio, edad y porción del árbol evaluada, presentándose una mayor fracción en sitios A (buenos), en edades mayores y en el fuste. Además, también concluyeron que para las tres especies se incrementan la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto por el pago del servicio de fijación de Carbono con respecto al ingreso por venta de madera (10).

En agosto de 2001, durante la celebración del "Día Forestal", el Viceministro de Ambiente y Recursos Naturales realizó una presentación del Potencial de la venta de captura de Carbono para el sector forestal, en donde se enfocó principalmente en la siguiente temática (15).

3.2.3.1 OPORTUNIDAD DE NEGOCIO: Internacionalmente se han realizado estudios que consideran que los bosques pueden ser un sumidero importante de gases de efecto invernadero específicamente Dióxido de Carbono. Guatemala, genera emisiones entre los 7.5 millones de toneladas de CO₂ y absorbe aproximadamente 42.9 millones o sea que tenemos un saldo de absorción de 35.4 millones de toneladas de CO₂ (según la cobertura boscosa para 1990) (15).

3.2.3.2 PROBLEMÁTICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO: El promedio global de la temperatura superficial de la tierra se ha incrementado a partir de 1861. Este incremento se calcula entre 0.6 a 0.2 grados centígrados. La década de los 90as ha sido la más caliente y el año 1998 fue el año más caliente. La temperatura del mar se ha incrementado la mitad que la tasa de incremento de la superficie de la tierra.

Por otro lado, las zonas con nieve han disminuido en un 10% desde los años 60as. También se está presentando un incremento del 2 al 4% en la frecuencia de tormentas y eventos de alta precipitación. Los cambios en el clima ocurren como resultado de la variabilidad natural en el planeta (emisiones por actividad volcánica), así como los factores inducidos por el hombre.

Las concentraciones de dióxido de Carbono (CO₂) se han incrementado en el planeta en 31% desde 1750. ¾ partes de las emisiones de CO₂ se han dado en los últimos 20 años por quema de combustibles fósiles. Las concentraciones de Metano (CH₄) se han incrementado en 150% y, el Oxido Nitroso (N₂O), en un 17% desde 1750 (15).

Las estimaciones bajo condiciones normales, predicen para el 2100 que las concentraciones de CO₂ pueden alcanzar incrementos del 250% sobre las medidas para 1750; esto podría provocar el incremento entre 1.4 y 5.8 grados centígrados para el 2100 en tierras ubicadas al norte del Ecuador. En tierras al sur quizá lo que provoque sean mayores precipitaciones (15).

3.2.3.3 GUATEMALA Y CENTROAMÉRICA EN EL CONTEXTO

El Cuadro 3 presenta el comportamiento de las emisiones de gases de Efecto de Invernadero emitidas por algunos países.

Cuadro 3. Emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (Giga gramos, miles de toneladas)

País	Dióxido de Carbono	Óxido Nitroso	Metano
Costa Rica	3843.50	0.68	161.97
El Salvador	8645.00	13.00	14.90
Guatemala	7489.62	20.71	199.56
Honduras	5433.23	5.18	127.98
Nicaragua	2728.38	3.07	271.39
México	398425.00	9.00	3896.00
Canadá	457441.00		
Estados Unidos	4957022.00		

3.2.3.4 VULNERABILIDAD DE LOS RECURSOS FORESTALES AL CAMBIO CLIMÁTICO: la distribución geográfica, la composición, las características y productividad de los bosques son determinadas en forma natural por las condiciones de clima. El análisis preliminar hecho en Guatemala define que los bosques de coníferas experimentarán algunos cambios alcanzados por el aumento de la zona seca. También la vulnerabilidad por sequías aumentará (15).

3.2.3.5 CONVENCION MARCO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO: la convención se abrió a la firma de 154 países en junio de 1992 en Rio de Janeiro durante la realización de la Cumbre de la Tierra.

Para 1999, 175 Estados se habían adherido y más de 30 lo habían ratificado (incluyendo Guatemala).

El objetivo de la Convención es estabilizar las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en la atmósfera en aquellos niveles que impidan interferencias peligrosas en el sistema climático.

Las opciones de mitigación deben ser, en general:

- a) Mejoramiento en la sustitución de combustibles de generación eléctrica (cogeneración).
- b) Eficiencia energética en las industrias.
- c) Reducción de las emisiones de la flota de transporte (control de emisiones, educación vial, etc.).
- d) Iluminación Pública más eficiente.
- e) Mejoramiento en la quema de la leña.

En su tercer período de sesiones (noviembre 1997), la Conferencia de las Partes (COP), aprobó el Protocolo de Kyoto; las partes en dicho Protocolo que son países desarrollados se comprometen a reducir sus emisiones globales de efecto de invernadero, por lo menos en el 5.2% tomando como base las emisiones de 1990. El período de cumplimiento se refiere a los años 2008 -2012 (15).

La COP6 recientemente realizada en Bonn, Alemania, finalizó las actividades que quedaban pendientes y se logró que los países se comprometieran a su ratificación y posterior puesta en funcionamiento. La Unión Europea y los otros países desarrollados tuvieron una amplia participación en el debate, contribuyendo al compromiso de ratificación (15).

3.2.3.6 REUNIÓN DE BONN (COP6 BIS)

Existen cuatro ejes que deben saberse a partir de la COP 6 Bis:

1. Financiamiento

- a. En el Marco de la Convención.
- b. Fondos del GEF y bilaterales.
- c. Fondos nuevos en el marco de la Convención.

2. Medidas de Mitigación

- a. Eliminación de imperfecciones del mercado (exenciones de impuestos en el caso de uso de tecnologías ecológicamente peligrosas).
- b. Cooperación para transferencia de tecnología.

- c. Creación de un grupo de control de cumplimiento.
- d. Sólo los firmantes del Protocolo de Kyoto tendrán derecho a transferir o adquirir créditos generados en virtud de la utilización de mecanismos.

3. Mecanismo de Desarrollo Limpio

- a. Los mecanismos son suplementarios a medidas nacionales.
- b. Facilitación de Información sobre Cumplimiento y progresos verificables.
- c. Las reducciones certificadas de emisiones pueden ser utilizadas por las partes del anexo I para cumplir sus compromisos.
- d. A partir de la COP8 (2002), modalidades y procedimientos simplificados.

4. Las actividades relativas a la forestación y reforestación deben regirse por

- a. Actividades basadas en conocimientos científicos.
- b. Metodologías congruentes a lo largo del tiempo.
- c. La mera presencia de Carbono almacenado se excluirá de la contabilidad.
- d. La contabilidad no implica transferencia de compromisos a un período de compromiso futuro.
- e. Demostrar que las actividades se han hecho a partir de 1990.
- f. Máximo de 8.2 megatoneladas de Carbono por parte y año; sin descuentos.
- g. Las emisiones admisibles no serán superiores del 1% de las emisiones del año base (1990) de esa parte, multiplicada por 5 (15).

3.2.3.7 PRINCIPALES OPCIONES DE MITIGACION DE EMISIONES EN LOS RECURSOS

- 1. Protección de Bosques Naturales (Mantenimiento de Reservas de Carbono).
- 2. Incremento de la Cobertura Arbórea (Aumento de Reservas de Carbono).
- 3. Eficiencia en el Manejo Forestal y en la utilización de los productos del bosque (Bioenergía) (15).

3.2.3.8 NECESIDADES NACIONALES

- a. Sistema Nacional Fiable de Contabilidad de Carbono.
- b. Técnicos en los Órganos Subsidiarios de la Convención.
- c. Inversión PÚBLICA Y PRIVADA en las Acciones de las siguientes COP's.
- d. Fortalecer la Oficina Nacional de MDL/OGIC.
- e. Analizar los Lineamientos Básicos para la Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en los Recursos Forestales, contenido en la Primera comunicación Nacional de Guatemala sobre Cambio Climático.
- f. Desarrollar el Plan de Mitigación (Sector Forestal) (15).

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- 4.1.1 Estimar la biomasa y cuantificar el Carbono presente en las especies de latifoliadas San Juan (*Vochysia guatemalensis*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y Palo Blanco (*Cyristax donnell-smithii*) en algunos bosques naturales de Guatemala.

4.2 ESPECÍFICOS

- 4.2.1 Estimar la biomasa total, a partir de variables de fácil medición (DAP, altura) en cada una de las especies de latifoliadas San Juan (*Vochysia guatemalensis*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y Palo Blanco (*Cyristax donnell-smithii*), para generar modelos de regresión e índices de expansión para cada especie.
- 4.2.2 Cuantificar el Carbono presente en los bosques en estudio con las especies San Juan (*Vochysia guatemalensis*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y Palo Blanco (*Cyristax donnell-smithii*), en función de la biomasa total.

5 METODOLOGÍA

5.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LAS ESPECIES Y ÁREAS DE ESTUDIO

Las especies de latifoliadas San Juan (*Vochysia guatemalensis*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*) seleccionadas para desarrollar esta investigación son de interés para el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, debido a la importancia que éstas representan para el Programa de Incentivos Forestales -PINFOR-. Con respecto a las áreas de estudio, se seleccionaron según la distribución natural de las especies, con base en la información proporcionada en el Registro Nacional Forestal del INAB; así como con las distintas Regiones y Subregiones del INAB. Posteriormente, se contactaron las fincas que contienen bosques con las especies a investigar y que tenían autorizadas licencias para aprovechamiento; y se programaron visitas de acuerdo a las fechas de aprovechamiento de cada cual. En total, las áreas muestreadas fueron Morales, Izabal; Ixcán Playa Grande, Quiché; Nueva Concepción, Escuintla y Suchitepéquez.

5.2 CARACTERÍSTICAS PARA SELECCIÓN DE RODALES

Los rodales donde se trabajó fueron seleccionados con base a las especies de interés, por ser áreas naturales se encontraron de todas las clases diamétricas requeridas en esta investigación, para muestrear árboles de cada una y tener una muestra representativa de cada especie; ya que se pretendía generar una ecuación de biomasa por especie. Además los rodales presentaron un manejo similar, crecimiento normal con una densidad adecuada factores que permitieron que el modelo generado se adaptara mejor a masas boscosas con manejo y condiciones generales. Debido a que la metodología planteada era destructiva, fue necesario que los rodales tuvieran licencia para aprovechamiento maderero y que éste se estuviera realizando en las fechas en que se pretendía realizar la investigación.

5.3 CARACTERÍSTICAS PARA SELECCIÓN DE ÁRBOLES

Las características de los árboles muestreados giraron en torno a árboles dentro del rango del diámetro a la altura de pecho de las clases diamétricas evaluadas. La copa de los árboles debió ser de preferencia uniforme (simétrica). No presentaban síntomas de plagas o enfermedades. El fuste era recto. Otro aspecto importante que se tomó en cuenta, fue el hecho que por tratarse de una metodología destructiva, se tomó en consideración solamente en este trabajo de investigación las fincas que tenía autorizadas licencias para aprovechamiento de las especies de interés; de esta manera una vez el árbol yacía en el suelo, la finca procedió a aprovecharlo en su cadena de producción.

5.4 TIPO DE MUESTREO

Para seleccionar una muestra representativa de la población lo recomendable es realizar un muestreo o selección al azar [20]. En este estudio preliminar se pretende tener un rango amplio de diámetros para poder generalizar los modelos a todas las clases diamétricas existentes en los bosques que están bajo manejo forestal. Este muestreo permite elegir los árboles que se necesitan para tener todos los tamaños de árboles en cuenta de todas las categorías diamétricas ¹.

5.5 UNIDADES DE MUESTREO

La unidad de muestreo para este caso fue cada árbol seleccionado, el cual fue sometido al procedimiento que se describe en el siguiente inciso.

5.6 TAMAÑO DE LA MUESTRA

Por ser un trabajo pionero, el tamaño de la muestra se definió considerando tres aspectos fundamentales: económicos, técnicos y funcionales. En tal sentido, se procedió a seleccionar 4 árboles por clase diamétrica; tomando en cuenta que fueron cinco clases diamétricas, se tuvo 20 árboles o unidades de muestreo por cada especie. Por otro lado, debido a que las rodajas debían permanecer en hornos de convección para su secado total, el factor tiempo desempeñó un importante papel, ya que las rodajas más grandes (diámetros arriba de 30 cm) permanecieron más de dos semanas en el horno, por lo tanto existió mayor gasto de recursos (combustible, tiempo). De cada unidad de muestreo se obtuvieron submuestras, las cuales se distribuyeron así: 3 submuestras de hojas, 3 submuestras de ramas, 3 submuestras de ramillas, 3 submuestras de fuste y 3 submuestras de corteza. Por lo que al final de la investigación el análisis se hizo sobre 900 submuestras (300 submuestras de cada especie).

5.7 VARIABLES

5.7.1 **VARIABLES PRIMARIAS:** bajo esta categoría se consideraron las variables: diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m. del suelo aproximadamente; altura del árbol en pie (m); longitud del árbol (m) (posteriormente derribado); diámetro a cada dos metros (árbol derribado); masa de ramas, ramillas y hojas en Kg.

5.7.2 **VARIABLES DERIVADAS:** éstas fueron: densidad aparente de la madera g/cm³, volumen de fuste en m³, masa seca de ramas, ramillas y hojas en Kg.

5.8 CLASES DIAMÉTRICAS

Se realizó una distribución de árboles por clase diamétrica, considerando los rangos de diámetros presentados en el Cuadro 4.

¹ Castellanos Bolaños, J.F. 1993. Producción de biomasa y eficiencia de crecimiento en rodales coetáneos de *pinus patula*. Tesis (M.C.). Chapingo, México. 75 p

Cuadro 4. Tamaño de la muestra utilizada en función de la categoría diamétrica.

Categoría Diamétrica (cm)	Rango (cm)	No. de árboles
1-15	1-14.99	4
15-30	15-29.99	4
30-45	30-44.99	4
45-60	45-59.99	4
60-75	60-74.99	4

5.9 FASE DE CAMPO

5.9.1 **MEDICIÓN DEL DAP:** a cada uno de los árboles se le midió el diámetro a la altura del pecho (1.30 m), para lo cual se utilizó cinta diamétrica.

5.9.2 **MEDICIÓN DE LA ALTURA:** a cada árbol se le midió la altura en pie con un hipsómetro a una distancia entre 15 y 20 m que es lo recomendado para utilizar este instrumento; la distancia específica de medición dependió de la altura de cada árbol. (figura 14)

5.9.3 **DERRIBO DEL ÁRBOL:** se despejó el sitio de caída del árbol. El corte se realizó aproximadamente a 0.30 m de altura del suelo utilizando una motosierra; sin embargo, en algunos casos el corte se hizo entre 0.40 y 0.70 m debido a las condiciones de sitio.

5.9.4 **MEDICIÓN DE LONGITUD:** una vez derribado el árbol, se procedió a medir la longitud del mismo con una cinta métrica tomando en cuenta la altura del tocón. Todas las medidas se hicieron desde el suelo.

5.9.5 **DESRAMADO:** este procedimiento se hizo utilizando una motosierra para ramas grandes y machete para ramas pequeñas. Todo el desramado se realizó teniendo el cuidado de quitar las ramas y ramillas sin destruirlas (Figura 14).

5.9.6 **SEPARACIÓN DE RAMAS Y RAMILLAS:** se hizo una clasificación de ramas y ramillas considerando el diámetro de las mismas, de la manera presentada en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificación de ramas y ramillas.

Ramas Diámetro (cm)	Ramillas Diámetro (cm)
> de 2	≤ de 2

5.9.7 MEDICIONES EN EL FUSTE: se procedió a medir el diámetro del fuste a cada dos metros de distancia desde el tocón, hasta el extremo superior del mismo. Posteriormente se tomaron tres (3) submuestras de rodajas; una del tocón, una de la parte media y otra de la parte alta del árbol. Cada rodaja tenía un grosor aproximadamente de 1.5 pulgadas (3.8 cm). Las rodajas se obtuvieron utilizando la motosierra (Figura 14).

Posteriormente se procedió a identificar cada rodaja con un marcador permanente, se anotó la localización y número del árbol, así como el número de rodaja. Esto se hizo con el fin de identificarlos y que no existiera ningún inconveniente en separarse o mezclarse con rodajas de otros árboles.

Inmediatamente después de cortar las rodajas, se colocó cada una en bolsas de polietileno y se obtuvo por separado el peso fresco de las mismas, utilizando para ello una balanza colgante. Posteriormente se identificó cada bolsa que contenía las rodajas, las submuestras permanecieron en bolsas de polietileno para evitar pérdida de humedad; y se hizo todo esfuerzo posible para mantener las rodajas lejos de la luz solar.

Se colocaron todas las rodajas de un mismo árbol en un costal grande (o en varios si se trataba de un árbol grande), de manera que todas las submuestras obtenidas se ordenaron por árbol.

5.9.8 MUESTREO DE HOJAS: se procedió a deshojar cada rama y ramilla de los árboles totalmente. Posteriormente, las hojas se colocaron en sacos de polietileno para pesarlas en el campo, para ello se utilizó una balanza colgante. Los pesos obtenidos en el lugar de aprovechamiento se consideraron como el peso húmedo total de hojas.

Se colectaron tres (3) submuestras del total de hojas previamente pesado en húmedo. Las submuestras se colocaron en bolsas de polietileno se sellaron y se identificaron. Luego se pesaron para registrar el peso fresco en campo. Posteriormente, se trasladaron a los laboratorios de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala y del Departamento de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad del Valle de Guatemala para el trabajo de laboratorio que se describe posteriormente.

5.9.9 MUESTREO DE RAMAS Y RAMILLAS: una vez se tenían clasificadas las ramas y ramillas, se procedió a colocarlas en lazos y en algunas ocasiones en costales para pesarlas usando la

balanza colgante. En este caso, los valores obtenidos eran los pesos frescos totales tanto de ramas como de ramillas.

Al igual que en los casos anteriores, se obtuvieron tres (3) submuestras de ramas y tres (3) submuestras de ramillas respectivamente; se procedió a su identificación y sellado. Finalmente cada submuestra se pesó en campo para obtener su peso fresco y luego se prepararon para su traslado al laboratorio.

5.10 FASE DE LABORATORIO

5.10.1 SECADO DE SUBMUESTRAS

Luego de haber concluido cada visita de campo de recolección de las submuestras, se trajeron a la ciudad y se almacenaron en el cuarto frío del Banco de Semillas Forestales –BANSEFOR- ya que de esta manera se preservaron mejor las submuestras y se evitó la descomposición de las mismas. Seguido a esto, se trabajaron los árboles en el mismo orden de campo y por separado para evitar mezcla o pérdida de ellas. Las submuestras se procesaron y se sometieron al secado en hornos en los laboratorios de las Universidades de San Carlos y del Valle de Guatemala simultáneamente.

Se procedió a trasladar las submuestras (a excepción de las provenientes del fuste) a bolsas de papel (previamente pesadas e identificadas con los mismos datos de campo).

Una vez en bolsas de papel, se procedió a pesar cada una de las submuestras en una balanza con escala electrónica. Los pesos obtenidos se registraron en la boleta de datos de laboratorio ver anexo VII.

Las submuestras de hojas y ramillas se colocaron en los hornos de convección a 80°C y se registraron datos de pesos secos diariamente hasta lograr obtener un peso constante. Para el caso de ramas, la temperatura estuvo entre 80 y 100 °C.

5.10.2 ANÁLISIS DE SUBMUESTRAS DE RODAJAS DE FUSTES

5.10.2.1 ANÁLISIS DE BIOMASA

- a) Se analizaron las rodajas de los fustes en el orden en que fueron cortados en el campo.
- b) Se determinaron diámetros medios (desde la médula) de cada rodaja, con y sin corteza. Se tomaron de seis a ocho medidas de diámetros para obtener un promedio aceptable. Se había propuesto tomar rodajas extras si éstas eran irregulares de algún extremo, sin

embargo, no hubo necesidad de hacer esto; es decir sólo se tomó una rodaja de cada segmento de fuste por la uniformidad de las mismas.

- c) Se procedió a retirar la corteza de cada rodaja. La forma más simple fue utilizando las puntas de las tijeras para desramar.
- d) Inmediatamente se obtuvo el peso húmedo (gramos) de ambos, rodaja de madera y corteza, para ello se utilizó la balanza más adecuada, ya que se contaba con balanzas colgantes y digitales.
- e) Se colocó la madera y corteza en un recipiente con agua por un período de una a dos horas para llenar las células de la superficie con agua. Esto se hizo para prevenir la absorción y adsorción de agua durante la determinación de volumen.
- f) Se procedió a sacar del agua tanto las rodajas como las cortezas y se removió el exceso de agua utilizando papel absorbente.

5.10.2.2 ANÁLISIS DE VOLUMEN

Se determinó el volumen por el método de Heinrichs y Lassen (1970), el cual sugirió lo siguiente:

- a) Se taró la balanza colgante a 100 gramos con el recipiente para el espécimen inmerso en agua.
- b) Se pesó el espécimen en el aire y se registró este peso (p_1). $P_1 = 100 +$ peso húmedo de espécimen.
- c) Se procedió a colocar el espécimen en el recipiente de volumen y se volvió a pesar. Este fue el p_2 . $p_2 =$ peso inmerso + 100.
- d) Se restó el p_2 del p_1 para obtener el volumen del espécimen en centímetros cúbicos. $V = p_1 - p_2$. Este resultado fue un poco diferente del método de Heinrichs y Lassen, en que la tara de 100 g nunca es directamente sustraída, pero se tomó en cuenta para cancelarse cuando p_1 fue sustraído del p_2 , para ahorrar dos pasos. Este procedimiento se consideró por si el espécimen tendía a hundirse o a flotar.
- e) Se procedió a secar las submuestras en un horno de convección entre 80 y 110°C hasta que cesó la pérdida de peso de humedad; es decir hasta obtener un peso constante. El tiempo de secado dependió del ancho y la densidad de la submuestra. Un mínimo de tiempo de secado fue de 48 horas y un máximo fue de una semana; no obstante, rodajas de diámetros mayores tomaron más de dos semanas.
- f) Se procedió a registrar el peso seco en una boleta de datos de laboratorio, (Anexo VII) hasta lograr un peso constante.

5.10.3 ANÁLISIS DE SUBMUESTRAS POST SECADO (SOLO SE REALIZÓ UNA VEZ)

Gracias a la colaboración del Dr. Edwin Castellanos, Investigador de la Universidad del Valle de Guatemala, se logró enviar algunas muestras de las especies investigadas a la Universidad de Indiana en Estados Unidos, con el fin de someterse a una prueba de contenido de Carbono. En Guatemala no se cuenta con el equipo necesario para realizar este tipo de pruebas, por lo que se consideró interesante aprovechar esta oportunidad. Además, esto permitió comparar los resultados con el factor de 0.5 que usualmente se utiliza para saber el Carbono que fija una especie toda vez se tiene su biomasa. Para realizar esta prueba se realizó lo siguiente:

- a) Una vez las submuestras alcanzaron un peso constante, se sacaron del horno de convección y se obtuvo una porción de la submuestras de rodajas (incluyendo corteza), hojas, ramas y ramillas.
- b) Dichas porciones se molieron utilizando un barreno común para el caso de rodajas, corteza, ramas y ramillas y para las hojas se utilizó una escofina. Luego se tamizaron y se obtuvo una consistencia similar a la del aserrín. Finalmente se colocaron en bolsas de polietileno y se identificaron según el estrato molido y el árbol a cual correspondían.
- c) Dichas porciones se trasladaron al Dr. Edwin Castellanos, quien se encargó directamente de enviarlas a Estados Unidos; en donde la Universidad de Indiana utilizó un analizador elemental CHN de Perkin Elmer.
- d) Aproximadamente dos meses después se obtuvieron los resultados del análisis de Carbono realizado a las muestras enviadas. Dichos resultados se discuten más adelante.

5.10.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.10.4.1 Densidad específica de madera o corteza, rodaja:

$$D.e. = \text{peso secado al horno (g)} / \text{volumen fresco (cc)}$$

5.10.4.2 Peso fresco inicial (PV en gr/cm³):

$$PV = \text{peso fresco (g)} / \text{volumen fresco (cm}^3\text{)}$$

5.10.4.3 Contenido de humedad, en base a peso seco, muestra:

$$CH^{\circ}S = (\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso seco}$$

5.10.4.4 Contenido de humedad, en base a peso fresco, muestra:

$$CH^{\circ}F = (\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso fresco}$$

5.10.4.5 Volumen de la troza de madera (m^3):

$$VT_i = \pi \frac{(\text{Diámetro mayor})^2}{4} + \frac{(\text{Diámetro menor})^2}{2} \times \text{largo de la troza}$$

5.10.4.6 Cubicación del fuste:

$$VF = \sum_{i=1}^n VT_i$$

5.10.4.7 Densidad específica promedio del fuste:

$$D.e.m. = \frac{VT_1 \cdot D.e_1 + VT_2 \cdot D.e_2}{VF}$$

Donde:

$$D.e_1 = \frac{D.e.L + D.e.M}{2} \quad \text{y} \quad D.e_2 = \frac{D.e.M + D.e.T}{2}$$

D.e.L = Densidad específica obtenida de la base del fuste

D.e.M = Densidad específica obtenida de la sección media del fuste

D.e.T = Densidad específica obtenida de la sección alta del fuste

5.10.4.8 Peso seco total (en Kg.) del fuste

$$PTF = D.e.m. \cdot VF \cdot 1000$$

5.10.4.9 Peso fresco del fuste (en Kg.):

$$PFF = VF \times PVM \times 1000$$

Donde:

VF = Volumen del fuste

PVM = Peso fresco inicial medio del fuste

5.10.4.10 Peso seco de follaje (Kg.):

$$PSF = PFTF \times (1 - CH^{\circ}F)$$

Donde PFTF es el peso fresco total del follaje.

5.10.4.11 Peso seco de ramas y ramillas de manera similar al inciso anterior.

5.10.4.12 Los resultados obtenidos de los cálculos anteriores se ordenaron y tabularon para obtener la biomasa total de cada árbol por encima del suelo, mediante la sumatoria de los pesos secos de cada uno de sus componentes (fuste, ramas, ramillas y hojas).

5.10.4.13 A partir de los modelos matemáticos que se generaron, se obtuvo la estimación de la biomasa total, con dichos datos se procedió a obtener el contenido de Carbono que fijan las especies seleccionadas, esto a través de dividir la biomasa en kilogramos dentro de 1000 para obtener las toneladas. Estas toneladas se multiplicaron por 0.5 para obtener el Carbono fijado por las especies en investigación (13).

5.10.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.10.5.1 ANÁLISIS DE REGRESIÓN: Se utilizó la técnica de regresión para estimar varios modelos lineales y no lineales, con el fin de poder predecir la biomasa total a partir de las variables predictoras o independientes: DAP y altura.

Los modelos fueron estimados utilizando el software de análisis estadístico Statística (25); de igual manera, los modelos estimados se probaron con el paquete estadístico SAS®, en ambos casos los resultados fueron los mismos y se decidió utilizar Statística (25) porque es más fácil su uso. Para poder decidir cuál era el "mejor" modelo, se utilizó el estadístico Coeficiente de Determinación (R^2), cuyo rango oscila entre 0 y 1. Este coeficiente, expresa el porcentaje de la variación total presente en la variable biomasa total por encima del suelo, que es atribuible al modelo de regresión en cuestión. Por lo tanto, un investigador seleccionará un modelo cuyo R^2 esté lo más cercano a la unidad ó 100%.

Las variables fueron:

Y	=	Biomasa total (kilogramos)
X ₁	=	DAP (cm)
X ₂	=	Altura del árbol en pie (m)

El análisis de regresión es uno de los métodos estadísticos más ampliamente usados. El análisis de regresión también es muy útil en situaciones experimentales donde el investigador puede controlar las variables independientes. Un experimentador típicamente desea investigar variables independientes simultáneamente porque casi siempre más de una variable independiente tiene influencia en la respuesta (21).

5.10.5.2 FACTOR O ÍNDICE DE EXPANSIÓN: éste se obtuvo a partir de datos de la biomasa secada al horno. Se hizo una relación matemática entre la biomasa total y la biomasa del fuste.

$$\text{FEB} = \text{Biomasa total} / \text{Biomasa del fuste}$$

Donde,

$$\text{FEB} = \text{Factor de expansión de biomasa}$$

El factor de expansión se obtuvo por su función de factor de corrección para datos de inventarios forestales; debido a que en éstos solamente se toma en cuenta el volumen comercial del árbol y se desprecia la biomasa acumulada en hojas, ramas y ramillas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

- 6.1.1 **San Juan (*Vochysia guatemalensis*):** esta especie fue muestreada en la finca Guaytán y la Firmeza ambas ubicadas en Morales, Izabal. Dichas fincas se caracterizaron tener esta especie en bosque natural. En la finca La Firmeza, los árboles muestreados se encontraron en un rodal muy pequeño con árboles de la clase diamétrica de 0 a 15 cm de DAP. Sin embargo, en la Finca Guaytán fue donde se completó la totalidad de muestras; su característica principal fue la uniformidad en la composición de los rodales, es decir, que existía una gran cantidad de árboles de esta especie. La densidad de esta especie era alta no solo por tratarse de un bosque natural, sino por la abundante regeneración natural de la misma.
- 6.1.2 **Santa María (*Calophyllum brasiliense*):** la recolección de muestras de esta especie tuvo lugar en dos fincas, una ubicada en Ixcán Playa Grande, Quiché y la otra en la Firmeza ubicada en Morales, Izabal. Esta especie también se encontró en bosque natural; sin embargo con una característica particular y muy distinta a las demás; cada árbol estaba disperso con relación a la ubicación de los demás; es decir, que la recolección de muestras para completar las clases diamétricas, fue muy lenta respecto de las demás. La densidad de esta especie en ambas fincas se consideró muy baja, debido a los aprovechamientos y a causas ajenas al manejo de bosques naturales realizado por las fincas. Esta peculiaridad provoca que el volumen de madera para esta especie sea muy reducido respecto a otras especies nativas del lugar, al menos este fue el fenómeno observado en las fincas muestreadas.
- 6.1.3 **Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*):** esta especie fue muestreada en tres fincas: Hacienda San Andrés, en Nueva Concepción, Escuintla; así como en las Fincas La Ceibilla y Cabán, ambas en Suchitepéquez. Esta especie presentó un comportamiento uniforme en las tres fincas, en el sentido que su abundancia permitió completar los árboles necesarios por clase diamétrica. Las tres fincas contaban con esta especie en bosque natural y la distribución de los árboles era uniforme.

6.2 ECUACIONES DE BIOMASA

En el Cuadro 6 se presentan las ecuaciones generadas a partir de 60 árboles muestreados por especie, 20 árboles de cada una de las especies (Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y San Juan (*Vochysia guatemalensis*) respectivamente. Para obtener dichas ecuaciones fue necesario probar varios modelos; inicialmente se tomó en cuenta la ecuación generada para el árbol de hule (20); sin embargo los coeficientes de determinación arrojaban porcentajes del 30%, lo cual permitió descartar dicho modelo. De igual manera, se probaron modelos lineales, pero el comportamiento de los coeficientes de determinación fue similar al anterior, por lo que no se tomaron en cuenta. No obstante y debido al comportamiento creciente de los individuos en el diagrama de dispersión (figuras 1-6), el modelo que mejor se adaptó fue el exponencial, el cual permitió generar ecuaciones más confiables a partir de los datos generados y que proporcionaron coeficientes de determinación (R^2) altos.

Los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos para las especies en estudio, también se incluyen en el Cuadro 6. Dichos coeficientes se consideran altos, permitiendo asegurar que los modelos son confiables, ya que se buscan coeficientes de determinación que se acercaran al cien por cien. Además, para variables biológicas se consideran aceptables coeficientes de determinación arriba de 60% debido a la amplia gama de variables que están influyendo en el comportamiento de la variable dependiente². Por lo tanto, quiere decir que los valores estimados de biomasa se acercan significativamente al valor real de biomasa.

Por otro lado, se logró generar un modelo que puede utilizarse para cualquiera de las tres especies investigadas; sin embargo, estas ecuaciones podrían utilizarse como una estimación en otras especies de latifoliadas si fuera necesario, haciendo énfasis en que la información en torno a este tema es escasa en Guatemala, pero que podrían implementarse ya que fueron generadas en este país, considerando condiciones propias que podrían variar si se llegaran a utilizar ecuaciones generadas en otros países. Se tomó en cuenta un tamaño de muestra de 60 árboles, es decir el total de las tres especies investigadas. El comportamiento del modelo propuesto fue exponencial y presentó un coeficiente de determinación del 89%. Según el estudio generado por Brown (5), el modelo utilizado arrojó un coeficiente de determinación del 92% que es bastante bueno; este modelo fue generado a partir de 169 árboles muestreados y con rangos de DAP que van desde 4 a 112 cm.

² Ing. Mario Paiz. 2001. Coeficiente de Determinación. Programa de Incentivos Forestales, INAB. Comunicación Personal.

Cuadro 6. Modelos exponenciales generados para estimar biomasa de las especies estudiadas.

ESPECIE	MODELO EXPONENCIAL	R ²
Palo Blanco (<i>Cybistax donnell-smithii</i>)	Biomasa = $e^{[1.469255+0.000914 \text{ DAP} + 0.470835 \text{ altura}-0.013751 \text{ altura}^2 + 0.000676 \text{ DAP}^2]}$	91%
Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	Biomasa = $e^{(3.8926 + 0.03825 \text{ DAP} + 0.06518 \text{ altura})}$	97%
San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	Biomasa = $e^{(4.420177+0.061182\text{DAP}-0.134815 \text{ altura} + 0.004806 \text{ altura}^2)}$	80%
Latifoliadas	Biomasa = $e^{(3.852749+0.086911\text{DAP}-0.042662\text{altura}-0.000406\text{DAP}^2+0.002021 \text{ altura}^2)}$	89%

En donde:

Biomasa = kilogramos

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

Altura = metros

R² = Coeficiente de determinación

Es importante recordar que estos modelos son exclusivos para las clases diamétricas establecidas en la investigación.

En la figura 1 puede a mayor DAP, mayor biomasa. Para el caso de los árboles con DAP entre 50 y 60 cm, se muestra un comportamiento de biomasa debajo de 1.000 kg, esto pudo deberse a que se encontraron individuos observarse el comportamiento de la especie Palo Blanco, respecto al diámetro a la altura del pecho y su comportamiento exponencial con relación a la biomasa estimada; es decir, con poco follaje y en algunos casos poca masa de ramas. Caso contrario sucedió al trabajar con árboles arriba de 60 cm de DAP, ya que su biomasa se incrementó por arriba de los 2,400 kg. Esta información puede corroborarse en el cuadro 7, donde se presenta la matriz de datos de esta especie y su comportamiento respecto a los DAP's, alturas y biomasa por árbol.

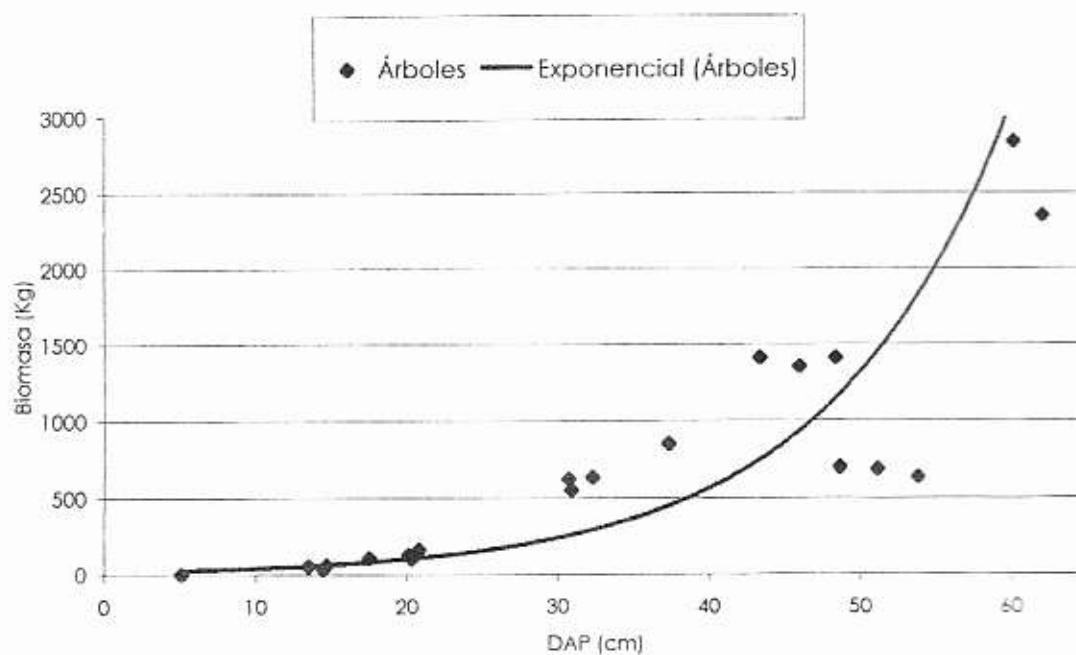


Figura 1. Relación DAP/Biomasa para Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*)

La figura 2 muestra el comportamiento de las alturas muestreadas en la especie Palo Blanco y se compara con la biomasa. Puede observarse que existe un valor atípico para una altura de 15 metros, esto se debe a que en algunas ocasiones por las condiciones edafoclimáticas y de variación de las fincas, la biomasa presenta comportamientos como el observado en la gráfica. En el cuadro 7 también se puede observar los valores de ese árbol con un DAP de 60 cm y una altura de 15 m, que mostró un valor elevado de biomasa que es el valor atípico para este caso mencionado anteriormente. En un inicio se pensó que hubo un error en las boletas de campo y se revisaron nuevamente, pero en efecto el comportamiento de ese árbol es como se observa en la gráfica. Debido a esta situación, y como ejercicio se graficaron los datos sin ese valor, pero el comportamiento de la gráfica no cambió significativamente, por lo tanto no se consideró indispensable eliminar el valor, ya que forman parte de los datos de campo.

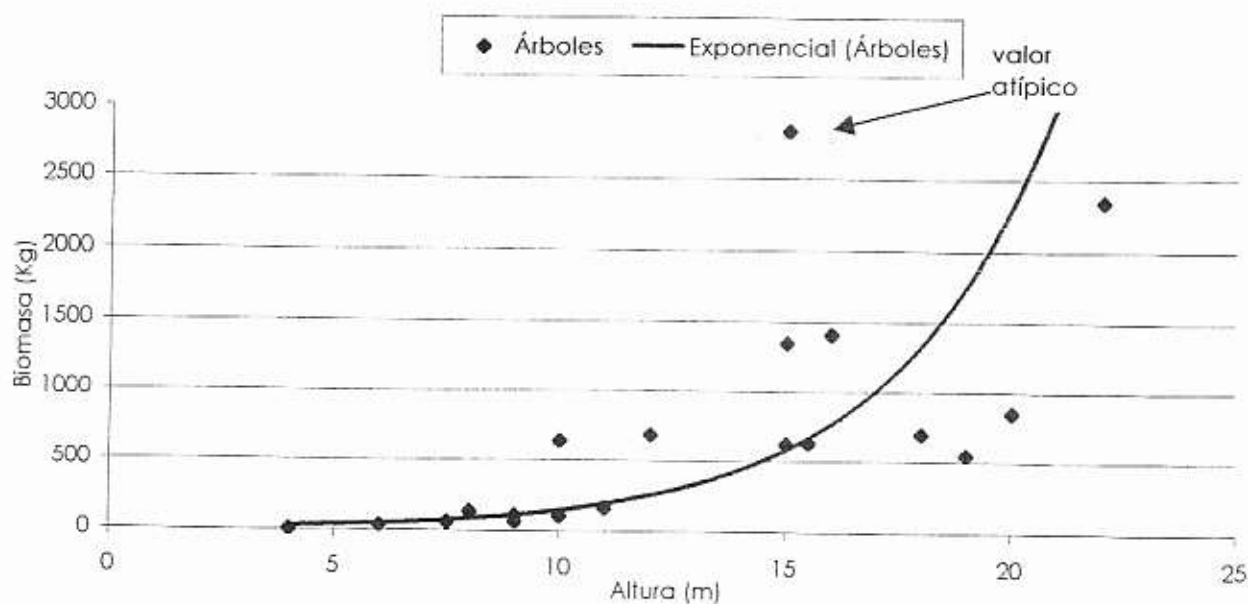


Figura 2. Relación Altura/Biomasa para Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*)

Cuadro 7. Matriz de datos para relacionar DAP/biomasa y altura/biomasa para la especie Palo Blanco (*Cybis lax donnell-smithii*)

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa (kg.)
Palo Blanco	5.1	4	5.647793619
Palo Blanco	13.5	7.5	60.04280039
Palo Blanco	14.5	6	35.96919182
Palo Blanco	14.7	9	63.22018746
Palo Blanco	17.5	9	109.5885479
Palo Blanco	20.1	8	131.9500466
Palo Blanco	20.3	10	107.0767406
Palo Blanco	20.8	11	166.3615426
Palo Blanco	30.7	15	625.3939118
Palo Blanco	30.9	19	553.5095727
Palo Blanco	32.3	15.5	637.2656516
Palo Blanco	37.3	20	858.2354392
Palo Blanco	43.3	16	1415.48907
Palo Blanco	45.9	15	1353.335551
Palo Blanco	48.3	16	1413.481182
Palo Blanco	48.6	18	704.5705092
Palo Blanco	51.1	12	690.306248
Palo Blanco	53.8	10	642.8296527
Palo Blanco	60.1	15	2838.733918
Palo Blanco	62	22	2348.328406

El Cuadro 7 presenta en forma íntegra el comportamiento de la especie Palo Blanco con respecto a las variables DAP y altura muestreadas en campo, así como la biomasa estimada en campo por cada árbol. Es importante notar que este cuadro es un reflejo numérico de dicha especie, y en las figuras 1 y 2 respectivamente, puede observarse en forma gráfica su comportamiento.

En la figura 3 se muestra la relación directa entre el DAP y la biomasa para la especie Santa María, se observa un comportamiento proporcional a su DAP. Es importante notar que esta fue la única especie que no presentó valores atípicos caso contrario al de las otras especies investigadas. La razón más evidente de este comportamiento se debe a que la masa foliar de esta especie fue más uniforme, éstas son del mismo tamaño en todas las clases diamétricas, por consiguiente era de esperarse este tipo de comportamiento. Caso contrario observado con las otras especies ya que cuando los DAP eran pequeños, el área foliar era mayor, provocando diferencias en la biomasa foliar.

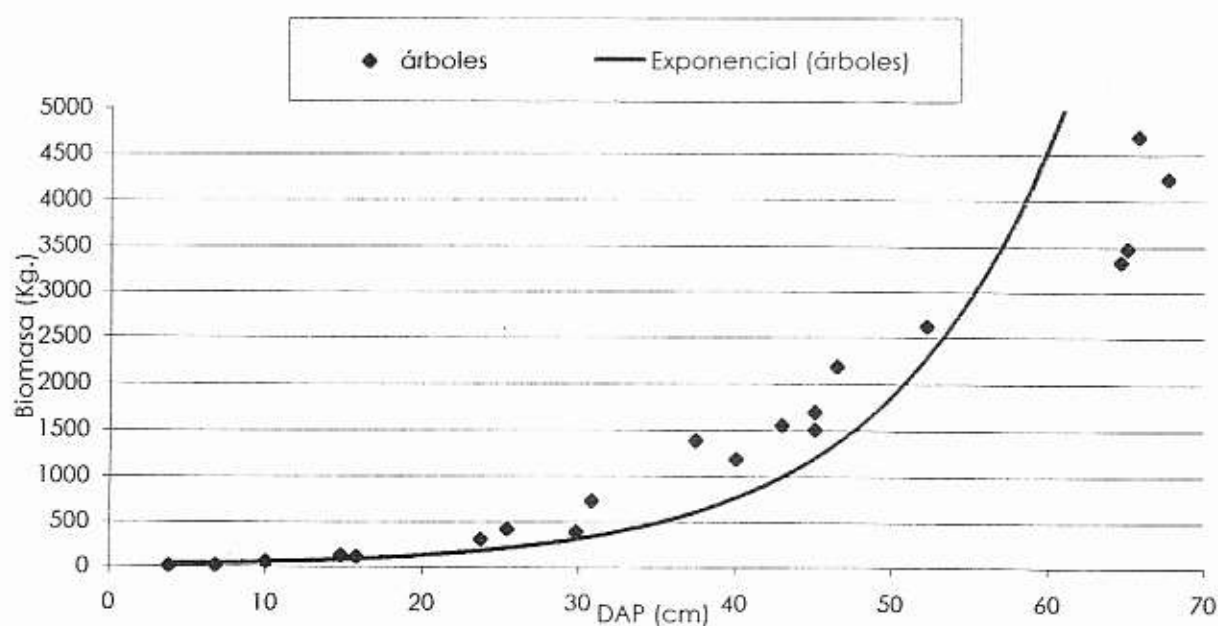


Figura 3. Relación DAP/Biomasa para Santa María (*Calophyllum brasiliense*)

La figura 4 muestra el comportamiento de la especie Santa María relacionando la biomasa con la altura, y en este sentido puede notarse que tiene un comportamiento creciente, a mayor altura mayor será su biomasa. Nuevamente se puede comparar con las otras dos especies. Al mismo tiempo, en el cuadro 8 se incluyen los valores de DAP, altura y biomasa para la especie en discusión, que permite observar el comportamiento de cada individuo muestreado. Dicho cuadro presenta en forma numérica el comportamiento de los 20 árboles muestreados de esta especie.

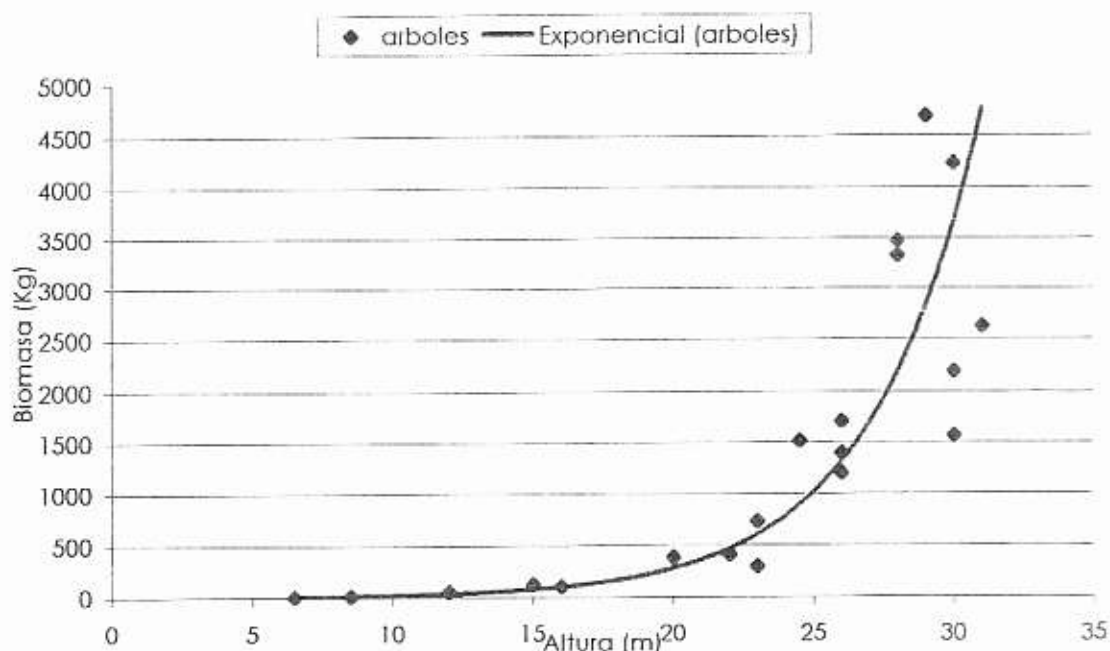


Figura 4. Relación Altura/Biomasa para Santa María (*Calophyllum brasiliense*)

El cuadro 8 presenta el comportamiento exponencial de la especie Santa María muestreada en esta investigación. Además es oportuno mencionar que el estudio realizado por Brown (5), presenta datos de biomasa para ecuaciones de regresión para la zona climática húmeda. Por ejemplo, para un árbol con un DAP de 35.6 cm, su biomasa fue de 489.9 Kg; para un DAP de 5.7 cm su biomasa fue de 7.9 Kg (5). Otra ecuación también utilizada bajo estas condiciones climáticas, presentó para un DAP de 15.3 cm un valor de biomasa de 59.9 Kg. y para un DAP de 36.9, el valor de biomasa fue de 1,229 Kg.

Cuadro 8. Matriz de datos para relacionar DAP/biomasa y altura/biomasa para la especie Santa María (*Calophyllum brasiliense*)

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa (kg)
Santa María	3.8	6.5	4.845252336
Santa María	6.8	8.5	11.69156444
Santa María	10	12	55.96668224
Santa María	14.8	15	126.7283861
Santa María	15.8	16	109.378782
Santa María	23.7	23	306.0853138
Santa María	25.4	22	420.3302368
Santa María	29.8	20	392.9424538
Santa María	30.8	23	736.7499724
Santa María	37.4	26	1405.395817
Santa María	40	26	1204.227882
Santa María	42.9	30	1573.300583
Santa María	45	26	1713.431178
Santa María	45	24.5	1526.361582
Santa María	46.4	30	2201.025175
Santa María	52.1	31	2635.864138
Santa María	64.5	28	3337.902287
Santa María	64.9	28	3482.313511
Santa María	65.6	29	4698.42772
Santa María	67.5	30	4241.028689

En la Figura 5 la especie San Juan, también puede notarse un valor atípico no influyente. Esto quiere decir, que un árbol muestreado entre la altura entre 25 y 30 m., contenía mucho mayor biomasa que otros de ese mismo DAP; esto pudo deberse a las condiciones edafoclimáticas de las dos fincas muestreadas. Para esto se volvió a revisar las boletas de campo e indagar si había un error humano, sin embargo, efectivamente se trataba de este valor; permitiendo descartar la posibilidad de haber cometido un error humano. Así mismo se hizo una prueba eliminando el valor atípico, en donde se esperaría un cambio brusco del coeficiente de determinación R^2 , no obstante el comportamiento del coeficiente de determinación no sufrió cambios significativos, haciéndolo un valor no influyente. Este individuo no recibió ningún tratamiento, es decir, luego de realizar las pruebas, se dejó debido a su insignificancia respecto a los resultados.

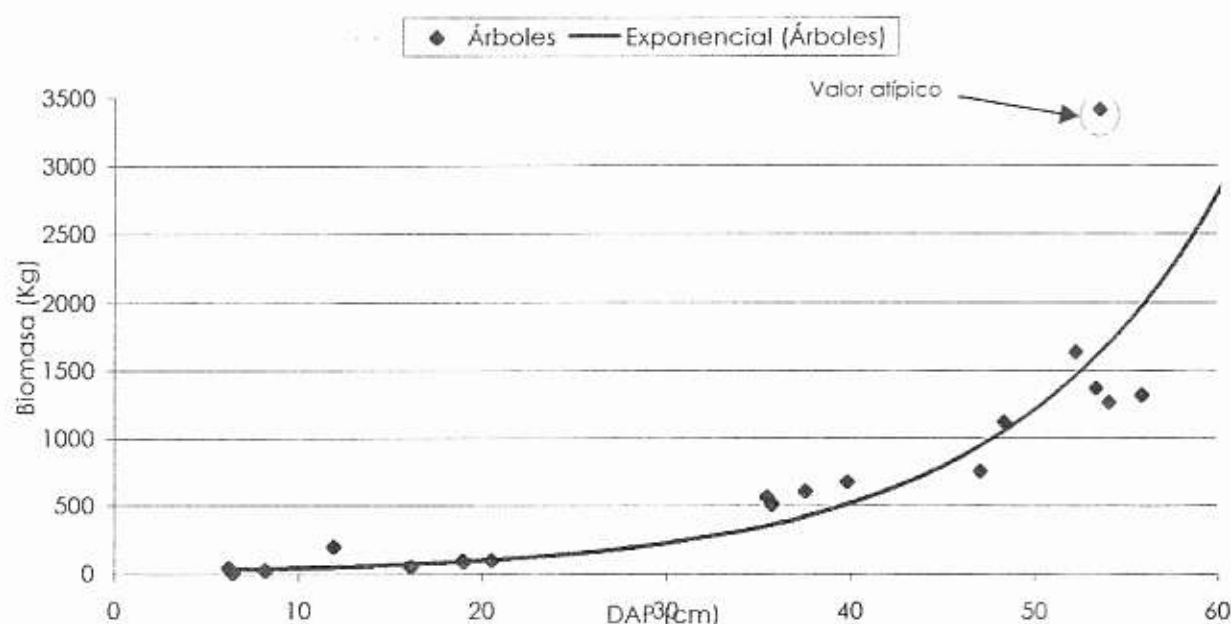


Figura 5. relación DAP/Biomasa para San Juan (*Vochysia guatemalensis*)

La Figura 6, muestra que San Juan al igual que en Palo Blanco, presenta un comportamiento muy similar, en el sentido de presentar valores atípicos. Puede observarse que también en esta especie se tiene un valor atípico no influyente que muestra un tanto disperso el valor para una altura arriba de los 25 metros. En el cuadro 9 pueden observarse uno a uno los valores de biomasa respecto a su altura y DAP respectivamente.

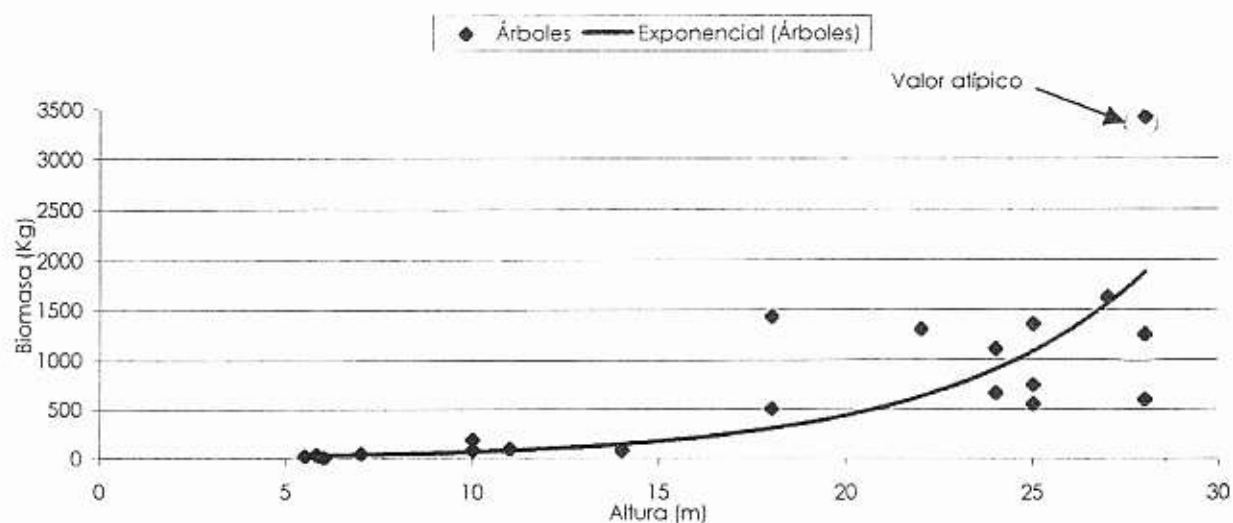


Figura 6. Relación Altura/Biomasa de San Juan (*Vochysia guatemalensis*)

El Cuadro 9 muestra el comportamiento de la especie San Juan muestreada en la investigación.

Cuadro 9. Matriz de datos para relacionar DAP/biomasa y altura/biomasa para la especie San Juan (*Vochysia guatemalensis*)

Especie	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa (kg)
San Juan	6.2	5.8	41.42148589
San Juan	6.4	6	6.815854034
San Juan	8.2	5.5	24.29955852
San Juan	11.9	10	196.8890206
San Juan	16.1	7	54.00354985
San Juan	18.9	14	92.37580847
San Juan	19	10	88.09695694
San Juan	20.5	11	101.6826046
San Juan	35.4	25	567.2339397
San Juan	35.7	28	608.9393404
San Juan	37.5	18	514.6978897
San Juan	39.8	24	679.7926139
San Juan	47	25	761.377876
San Juan	48.3	24	1123.719513
San Juan	52.2	27	1641.765933
San Juan	53.3	25	1373.532036
San Juan	53.5	28	3420.678029
San Juan	54	28	1261.224136
San Juan	55.8	22	1318.533147
San Juan	60.6	18	1441.722339

En la figura 7, la barra que muestra la biomasa estimada con la ecuación de Sandra Brown(5) en todos los árboles siempre va más arriba de las otras barras, en este caso puede observarse que el modelo de Brown subestima la biomasa de la especie Santa María. Hay que recordar que esta ecuación fue generada bajo otras condiciones y tomó como muestras para la misma diversas especies y no solo una, como en el caso de esta investigación. No obstante, se presenta el análisis comparativo entre la biomasa real estimada en campo y la biomasa estimada con los modelos generados para la especie Santa María (*Calophyllum brasiliense*), y para las latifoliadas en general. Puede observarse que para los tres casos de estimación de biomasa (real y con los modelos propuestos), el comportamiento es muy similar; esto quiere decir que los modelos casi logran estimar la biomasa real que fue cuantificada en campo.

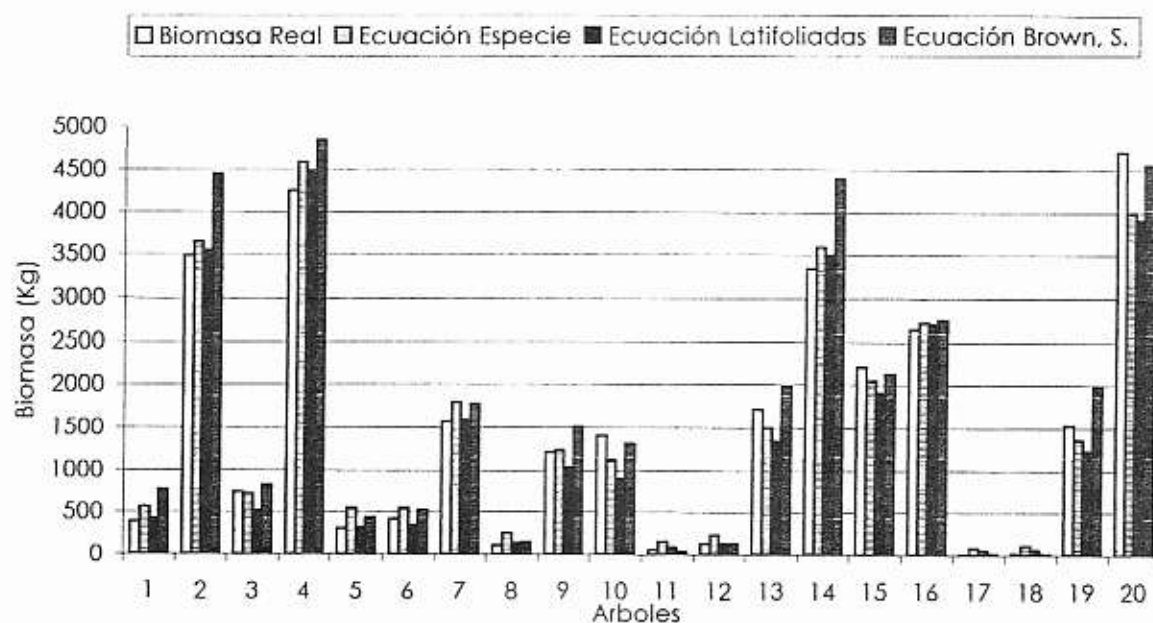


Figura 7. Comparación de ecuaciones de biomasa para la especie Santa María (*Calophyllum brasiliense*)

El Cuadro 10 presenta los datos utilizados en la comparación de ecuaciones para esta especie.

Cuadro 10. Matriz de datos para comparación de ecuaciones para la especie Santa María (*Calophyllum brasiliense*)

Especie	Biomasa Real	Ecuación Especie	Ecuación Latifoliadas	Ecuación Brown, S.
Santa María	4.85	86.63	53.80	11.98
Santa María	11.69	110.69	67.25	13.08
Santa María	55.97	157.16	86.52	38.89
Santa María	109.38	254.63	142.50	150.50
Santa María	126.73	229.61	129.66	125.30
Santa María	306.09	543.63	321.30	436.95
Santa María	392.94	564.56	418.77	764.20
Santa María	420.33	543.54	343.08	518.86
Santa María	736.75	713.26	508.95	826.66
Santa María	1204.23	1233.09	1029.24	1517.89
Santa María	1405.40	1116.36	890.97	1301.23
Santa María	1526.36	1353.92	1223.51	1981.74
Santa María	1573.30	1788.13	1592.51	1779.36
Santa María	1713.43	1492.98	1337.53	1981.74
Santa María	2201.03	2044.28	1901.42	2122.75
Santa María	2635.86	2713.53	2693.03	2747.11
Santa María	3337.90	3585.90	3496.00	4384.12
Santa María	3482.31	3641.19	3544.40	4443.29
Santa María	4241.03	4581.93	4484.78	4837.55
Santa María	4698.43	3991.89	3902.64	4547.78

En donde:

Biomasa Real: Estimada en campo

Ecuación especie: $Biomasa = e^{(3.8926 + 0.03825 \text{ DAP} + 0.06518 \text{ altura})}$

Ecuación Latifoliadas: $Biomasa = e^{(3.852749 + 0.086911 \text{ DAP} - 0.042662 \text{ altura} - 0.000406 \text{ DAP}^2 + 0.002021 \text{ altura}^2)}$

Ecuación Sandra Brown (5): $Biomasa = 42.69 - 12.800 (\text{DAP}) + 1.242 (\text{DAP}^2)$

En la figura 8, nuevamente se tomó como comparador la ecuación generada por Brown (5). Se presenta el análisis comparativo entre la biomasa cuantificada en campo y las estimadas con los modelos exponenciales generados en la investigación para la especie San Juan (*Vochysia guatemalensis*). El comportamiento de las dos ecuaciones (para esta especie y latifoliadas) es muy similar, lo que indica que este modelo es muy adecuado y casi estima la biomasa real de dicha especie. Otro aspecto interesante de observar en esta gráfica, es que el comportamiento de la barra que estima biomasa para latifoliadas (de esta investigación) y la barra que estima biomasa por la ecuación de Brown (5), están relativamente separadas de las otras dos barras (biomasa real y ecuación de la especie). Esto puede estar ligado al número de muestras, ya que Brown (5) generó dicho modelo con un tamaño de muestra de 169 y con variabilidad de especies y el modelo para latifoliadas, en este caso tomó como tamaño de muestra 60 árboles, es decir 20 árboles de tres especies diferentes. Aspecto que sugiere que al existir variabilidad de especies la biomasa tiende a variar.

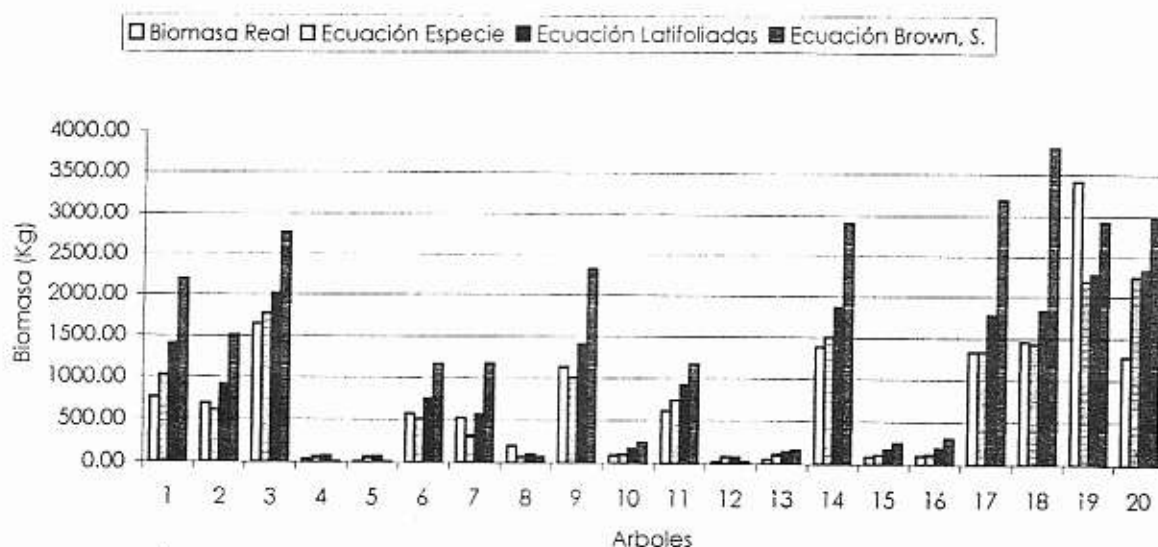


Figura 8. Comparación de ecuaciones de biomasa para la especie San Juan (*Vochysia guatemalensis*)

A continuación, en el Cuadro 11, se listan los valores necesarios para comparar las ecuaciones para la especie San Juan.

Cuadro 11. Matriz de datos para comparación de ecuaciones para la especie San Juan (*Vochysia guatemalensis*)

Especie	Biomasa Real	Ecuación Especie	Ecuación Latifoliadas	Ecuación Brown, S.
San Juan	6.82	65.10	67.30	11.64
San Juan	24.30	75.62	78.62	21.24
San Juan	41.42	65.32	66.46	11.07
San Juan	54.00	109.62	140.78	158.55
San Juan	88.10	111.62	169.52	247.85
San Juan	92.38	102.63	172.29	244.42
San Juan	101.68	118.27	188.49	302.24
San Juan	196.89	72.29	99.98	66.25
San Juan	514.70	309.47	558.31	1168.65
San Juan	567.23	502.40	747.84	1145.99
San Juan	608.94	733.23	923.30	1168.65
San Juan	679.79	594.62	905.87	1500.63
San Juan	761.38	1021.58	1390.32	2184.67
San Juan	1123.72	1000.21	1399.13	2321.90
San Juan	1265.41	2246.41	2326.16	2973.16
San Juan	1318.53	1331.83	1768.43	3195.59
San Juan	1373.53	1502.00	1859.90	2888.84
San Juan	1441.72	1419.81	1836.22	3828.08
San Juan	1641.77	1767.72	2007.52	2758.78
San Juan	3420.68	2178.73	2276.38	2912.80

En donde:

Biomasa Real: Estimada en campo

Ecuación especie: $Biomasa = e^{(4.420177+0.061182DAP-0.134815 altura + 0.004806 altura^2)}$

Ecuación Latifoliadas: $Biomasa = e^{(3.852749+0.086911DAP-0.042662altura-0.000406DAP^2+0.002021altura^2)}$

Ecuación Sandra Brown (5): $Biomasa = 42.69 - 12.800 (DAP) + 1.242 (DAP^2)$

La figura 9 muestra el comportamiento de la biomasa estimada con las ecuaciones generadas y se comparan con la biomasa real calculada en campo para la especie Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*). Se observa como en el caso anterior, el comportamiento de la ecuación de Sandra Brown (5) que tiende a subestimar la biomasa, mientras que para el caso de los modelos generados existe un acercamiento a la biomasa real.

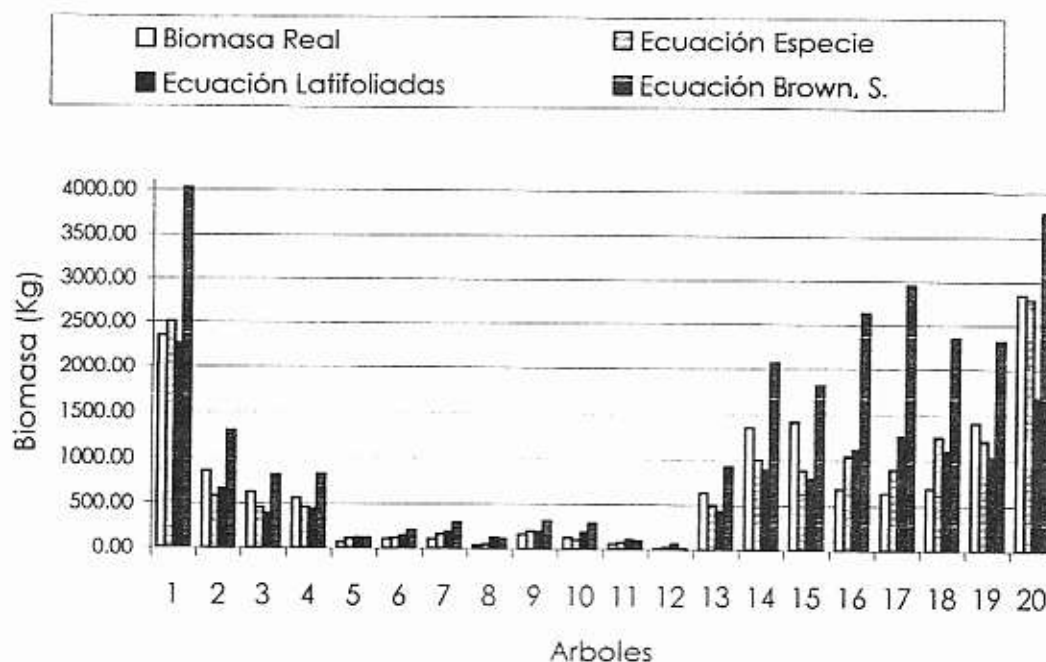


Figura 9. Comparación de ecuaciones de biomasa para la especie Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*)

El Cuadro 12 muestra los datos de la especie Palo Blanco para realizar la comparación de ecuaciones.

Cuadro 12. Matriz de datos para comparación de ecuaciones para la especie Palo Blanco (*Cybisfax donnell-smithii*)

Especie	Biomasa Real	Ecuación Especie	Ecuación Latifoliadas	Ecuación Brown, S.
Palo Blanco	5.65	23.45	63.25	9.71
Palo Blanco	35.97	52.18	127.02	118.22
Palo Blanco	60.04	78.46	115.10	96.24
Palo Blanco	63.22	115.87	124.26	122.91
Palo Blanco	107.08	163.96	185.90	294.67
Palo Blanco	109.59	123.47	152.79	199.05
Palo Blanco	131.95	104.31	185.62	287.19
Palo Blanco	166.36	199.55	192.50	313.79
Palo Blanco	553.51	457.01	432.53	833.04
Palo Blanco	625.39	447.19	384.93	820.30
Palo Blanco	637.27	491.92	428.67	925.02
Palo Blanco	642.83	905.35	1247.50	2948.94
Palo Blanco	690.31	1044.21	1110.79	2631.73
Palo Blanco	704.57	1248.96	1101.64	2354.16
Palo Blanco	858.24	578.34	655.12	1293.23
Palo Blanco	1353.34	996.21	899.10	2071.83
Palo Blanco	1413.48	1216.26	1030.89	2321.90
Palo Blanco	1415.49	888.35	803.98	1817.06
Palo Blanco	2348.33	2508.28	2253.34	4023.34
Palo Blanco	2838.73	2791.84	1676.43	3759.53

En donde:

Biomasa Real: Estimada en campo

Ecuación especie: $Biomasa = e^{(1.469255 + 0.000914 \text{ DAP} + 0.470835 \text{ altura} - 0.013751 \text{ altura}^2 + 0.000676 \text{ DAP}^2)}$

Ecuación Latifoliadas: $Biomasa = e^{(3.852749 + 0.086911 \text{ DAP} - 0.042662 \text{ altura} - 0.000406 \text{ DAP}^2 + 0.002021 \text{ altura}^2)}$

Ecuación Sandra Brown (5): $Biomasa = 42.69 - 12.800 (\text{DAP}) + 1.242 (\text{DAP}^2)$

La figura 10 muestra el comportamiento de los valores observados, es decir la biomasa real tomada en campo, contra la biomasa predicha, obtenida con los modelos generados en esta investigación para la especie Santa María. La distribución de las gráficas está en función del R^2 , lo que implica que si el R^2 fuese del 100% se tendría una línea recta de cuarenta y cinco grados, en donde los valores observados serían iguales a los predichos.

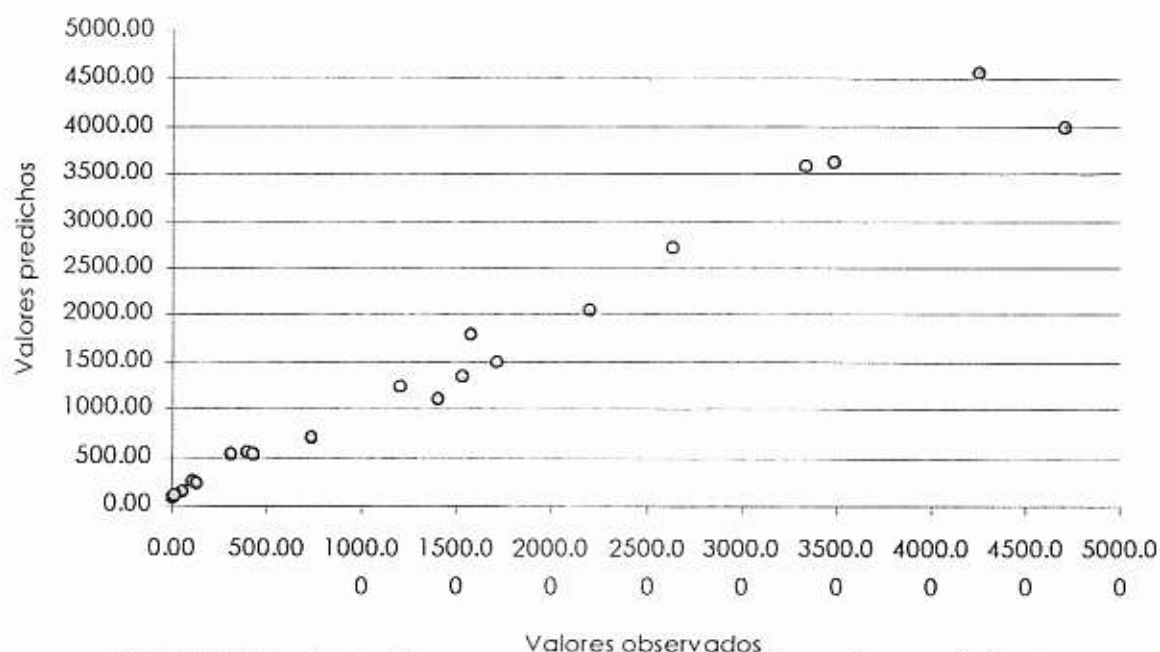


Figura 10. Relación de biomasa real y biomasa estimada para la especie Santa María (*Calophyllum brasiliense*)

La figura 11 muestra el comportamiento de los valores observados, es decir la biomasa real tomada en campo, contra la biomasa predicha, obtenida con los modelos generados en esta investigación para la especie San Juan. La distribución de las gráficas está en función del R^2 , lo que implica que si el R^2 fuese del 100% se tendría una línea recta de cuarenta y cinco grados, en donde los valores observados serían iguales a los predichos.

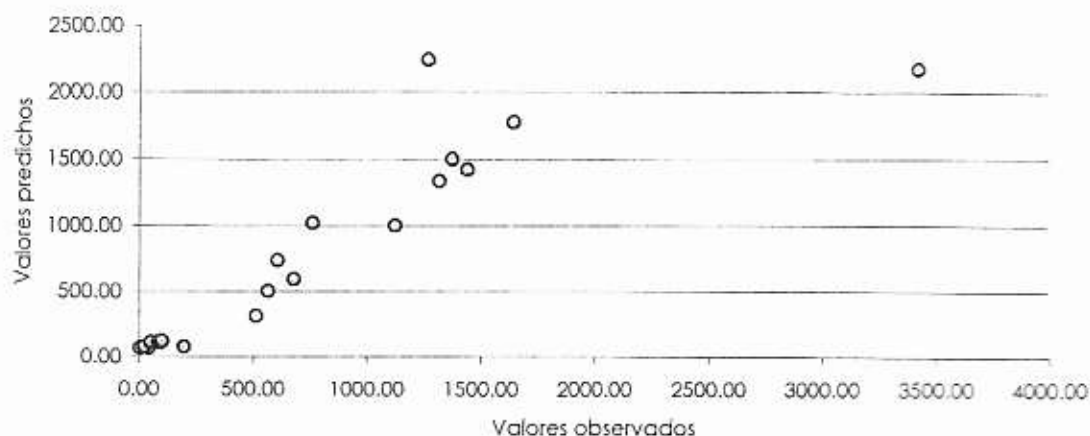


Figura 11. Relación de biomasa real y biomasa estimada para la especie San Juan (*Vochysia guatemalensis*)

La figura 12 muestra el comportamiento de los valores observados, es decir la biomasa real tomada en campo, contra la biomasa predicha, obtenida con los modelos generados en esta investigación para la especie Palo Blanco. La distribución de las gráficas está en función del R^2 , lo que implica que si el R^2 fuese del 100% se tendría una línea recta de cuarenta y cinco grados, en donde los valores observados serían iguales a los predichos.

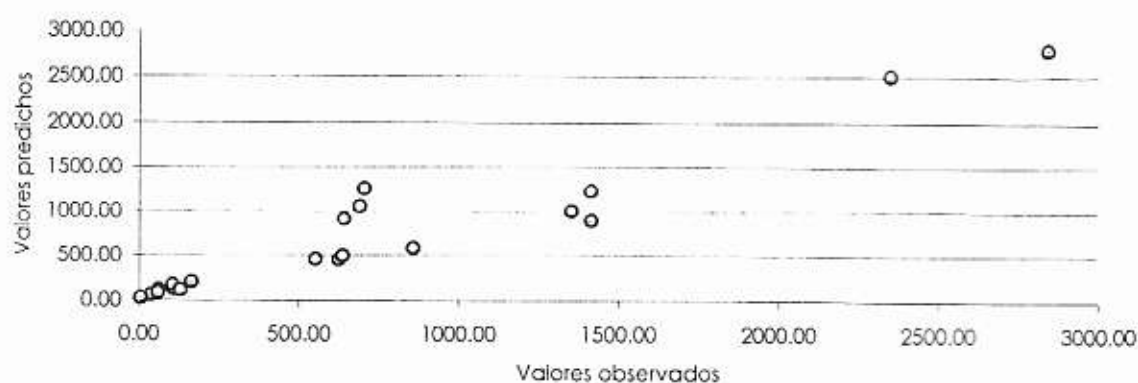


Figura 12. Relación de biomasa real y biomasa estimada para la especie Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*)

La figura 13 muestra el comportamiento de los valores observados, es decir la biomasa real tomada en campo, contra la biomasa predicha, obtenida con los modelos generados en esta investigación con las tres especies. La distribución de las gráficas está en función del R^2 , lo que implica que si el R^2 fuese del 100% se tendría una línea recta de cuarenta y cinco grados, en donde los valores observados serían iguales a los predichos.

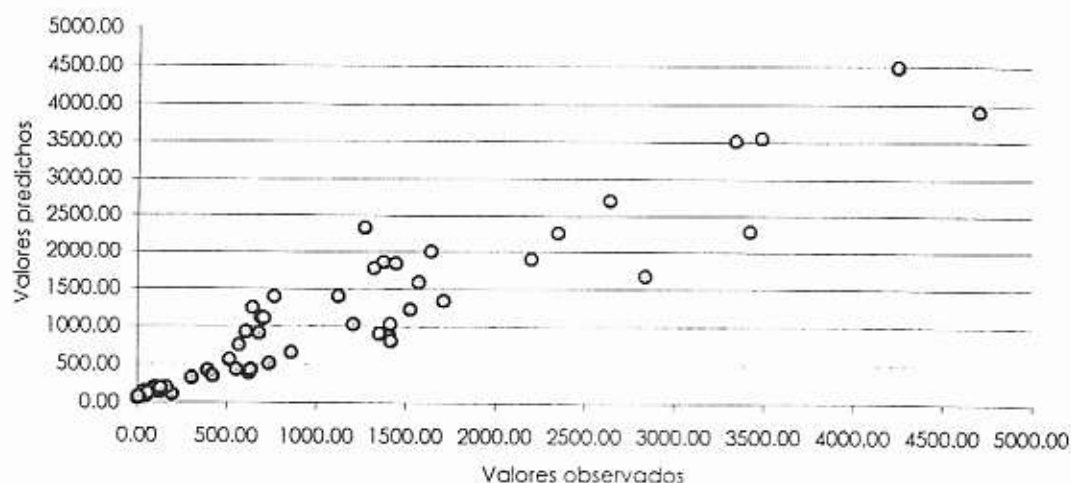


Figura 13. Relación de biomasa real y biomasa estimada para las tres especies

6.3 FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA

El factor de expansión de biomasa se calculó relacionando la biomasa total y la biomasa del fuste, esto se hizo con el fin de crear un factor que corrija datos de inventarios forestales; ya que al elaborar inventarios forestales con fines comerciales, solamente se toman en cuenta las variables diámetro a la altura de pecho (DAP) y Altura del árbol en pie, para obtener el volumen de madera que existe en un área; pero al trasladar este volumen a biomasa, se desprecia la biomasa acumulada en hojas, ramas y ramillas. Debido a que en la presente investigación se generaron modelos que estiman biomasa total arriba del suelo, a partir de datos de inventarios forestales, se hizo necesario crear también un factor que sea útil en la corrección de éstos y tomar en cuenta así, la biomasa que se almacena en ramas, ramillas y hojas. En el Cuadro 13 se presenta el factor de expansión de biomasa para cada una de las especies estudiadas.

Cuadro 13. Factor o Índice de expansión de biomasa por especie.

ESPECIE	FACTOR DE EXPANSIÓN DE BIOMASA		
	n	FEB	D. Std
<i>Cybistax donnell-smithii</i>	20	1.24	0.14
<i>Calophyllum brasiliense</i>	20	1.19	0.11
<i>Vochysia guatemalensis</i>	20	1.17	0.13

En donde:

- n = Número de muestras
 FEB = Factor de Expansión de Biomasa
 D Std = Desviación standard

Los factores de expansión de biomasa presentados en el cuadro anterior se obtuvieron como un promedio de los árboles medidos para cada especie (Anexo II). Es interesante notar que las especies *Calophyllum brasiliense* y *Vochysia guatemalensis* son muy similares, lo que puede deberse a que pertenecen a un lugar de muestreo muy similar, teniendo influencia de características como condiciones climáticas. Caso contrario sucedió con la especie *Cybistax donnell-smithii* que se encuentra en la costa sur del país y por ende bajo condiciones climáticas distintas que pueden causar influencia en las diferencias de factores de expansión.

6.4 CUANTIFICACIÓN DE CARBONO

En general y sin considerar pruebas específicas de Carbono, el valor de biomasa en kilogramos se divide dentro de 1,000 para obtener toneladas; las toneladas son multiplicadas por 0.5 para obtener el Carbono correspondiente. La razón por la que se multiplica por 0.5 para obtener Carbono se debe a que la literatura indica que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de Carbono, una vez se ha removido el agua (13).

Por otro lado, el Dr. Edwin Castellanos, Investigador de la Universidad del Valle colaboró directamente en el desarrollo de esta investigación y gracias a ello, se logró enviar muestras de las especies investigadas al laboratorio de la Universidad de Indiana, Estados Unidos para su análisis respecto al contenido de Carbono presente ellas, esto se hizo con un analizador elemental CHN de Perkin Elmer; dicha información se encuentra completa en el anexo III. En esta investigación se calculó el Carbono fijado por árbol ya que se cuenta con la biomasa en kilogramos obtenida en campo y con el factor de Carbono para cada especie, a partir de las muestras analizadas en la Universidad de Indiana, Estados Unidos.

Por aparte, en el anexo I se presentan los cuadros de la estimación de Carbono por especie y por árbol expresado en toneladas para las especies investigadas.

A continuación, en el Cuadro 14, se presenta el porcentaje de Carbono obtenido con el analizador elemental CHN de Perkin Elmer de las especies muestreadas.

Cuadro 14. Carbono calculado con analizador elemental de Perkin Elmer para las especies en la investigación.

Especie	% Carbono
<i>Calophyllum brasiliense</i>	48.60
<i>Vochysia guatemalensis</i>	44.88
<i>Cyristax donnell-smithii</i>	45.55

En el cuadro anterior se puede observar que el porcentaje de Carbono de cada especie varía respecto al 50% (0.5) que menciona la literatura (MackDicken, 1997) citado por Fundación Solar (2000). Sin embargo, es importante notar que estos porcentajes son específicos para cada especie investigada. No obstante, para otras especies puede continuar utilizándose el porcentaje que recomienda la literatura, ya que la diferencia entre lo sugerido por la literatura y lo obtenido del análisis no varía significativamente, por ello, se sugiere que se utilice el valor de 0.5 en caso de no contar con porcentajes reales muestreados para otras especies.

En el Cuadro 15, se presenta el contenido de Carbono por clase diamétrica de las especies investigadas, tomando en cuenta el factor de Carbono según el analizador elemental Perkin Elmer.

Cuadro 15. Estimación de Carbono por clase diamétrica, según biomasa real estimada en campo.

ESPECIE	CLASE DIAMÉTRICA (cm)	DAP (cm)	ALTURA (m)	TONELADAS DE CARBONO/ÁRBOL
<i>Calophyllum brasiliense</i>	1-15	8.85	10.5	0.024
	15-30	23.68	20.25	0.15
	30-45	37.78	26.25	0.58
	45-60	47.12	27.88	0.98
	60-75	65.62	29	1.91
<i>Vochysia guatemalensis</i>	1-15	8.18	6.82	0.03
	15-30	18.62	10.5	0.04
	30-45	36.65	23.75	0.26
	45-53.4	50.2	25.25	0.55
	53.5-65	55.92	24	0.84
<i>Cyristax donnell-smithii</i>	1-15	11.95	6.62	0.02
	15-30	19.68	9.5	0.06
	30-40	32.8	17.38	0.30
	40-50	46.52	16.25	0.56
	50-65	56.75	14.75	0.74

Ejemplo 1. A continuación se presenta un ejemplo del Carbono fijado según los datos obtenidos en campo y utilizando el modelo generado para una especie en particular.

Asumiendo que se tuviera una plantación de 1.500 ha de *Vochysia guatemalensis* con un DAP promedio de 20 cm. y una altura promedio de 11 m, con una densidad de 800 árboles/ha. y tomando el factor de 0.4488 de Carbono en lugar de 0.5 que sugiere la literatura. El comportamiento de la plantación con relación al Carbono fijado sería así:

Ecuación para esa especie: Biomasa = $e^{(4.420177 + 0.061182 \text{ DAP} - 0.134815 \text{ altura} + 0.004806 \text{ altura}^2)}$

Biomasa = $e^{(4.420177 + 0.061182 [20] - 0.134815 [11] + 0.004806 [11]^2)}$

Biomasa = 114.71 Kg.

Biomasa = 114.71 Kg * 0.4488 = 51.48 Kg de Carbono/árbol

51.48 Kg Carbono/árbol * 1ton/1000 Kg * 800 arb/ha = 41.18 ton C/ha.

41.18 ton C/ha * 1500 ha = 61.770 Toneladas de carbono

Lo que quiere decir que esa plantación fija 61.770 Toneladas de Carbono.

A manera de comparación, en mayo de 1999, Fundación Solar desarrolló un premuestreo del Carbono fijado por las plantaciones de hule en Guatemala, para determinar el valor de fijación que tiene este sistema productivo. Esta pequeña investigación se hizo para la Gremial de Huleros de Guatemala con financiamiento del Instituto Nacional de Bosques. Un total de 6 parcelas circulares de 500 metros cuadrados fueron establecidas. En las parcelas se midió el DAP de los árboles, se colectó maleza, hojarasca y suelo. Los valores de fijación de Carbono obtenidos con este premuestreo son los siguientes:

Valores para el Carbono fijado por el sistema de cultivo de hule en Guatemala (tC/ha)

Árboles	Hojarasca	Maleza	Suelos	Raíces	Total
75	4	0	50	16	145

Los resultados del premuestreo indican que el cultivo de hule contiene unas 145 toneladas de Carbono por hectárea (con un rango de ± 15 toneladas). Estos valores representan el resultado obtenido en plantaciones cuyos árboles tienen al menos 5 años en su etapa productiva (13).

Si se comparan los datos arrojados por el estudio de la Fundación Solar, se nota que los árboles fijan 75 tC/ha, comparando los resultados para este ejercicio que dio 51.48 tC/ha, estos resultados tienen una diferencia de alrededor de 24 tC/ha de diferencia, pero hay que tomar en cuenta que el estudio de la Fundación Solar consideraba principalmente una especie que no es forestal, por lo mismo el comportamiento de la biomasa pudo variar; así como que se utilizaron ecuaciones generadas bajo otras condiciones. También que se utilizaron árboles más pequeños de 20 cm de DAP, lo que es un comportamiento normal, ya que varios autores indican que los árboles más jóvenes son los que fijan más Carbono.

7 CONCLUSIONES

7.1 Con la implementación de una metodología destructiva, en esta investigación se logró estimar la biomasa total por encima del suelo de las tres especies latifoliadas: Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y San Juan (*Vochysia guatemalensis*). Esto permitió la generación de modelos exponenciales que permiten estimar la biomasa para cada una de esas especies con solo tomar en cuenta variables como diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura. Esta información permitirá que en ocasiones futuras no sea necesario tumbiar árboles a menos que se quiera generar modelos para otras especies latifoliadas. Por otro lado, se logró establecer un modelo generalizado de estimación de biomasa para las especies latifoliadas investigadas. Esto también quiere decir que mientras no exista interés de alguna Institución o persona individual en generar ecuaciones de otras especies latifoliadas, se podría utilizar el modelo generado en esta investigación como una estimación. No obstante, cabe mencionar que lo ideal sería estimar un modelo para cada especie.

7.2 Los modelos generados en la investigación son exponenciales, se buscó el modelo que mejor se ajustó tomando en consideración el coeficiente de determinación como indicador. Estos modelos son:

ESPECIE	MODELO EXPONENCIAL	R ²
Palo Blanco (<i>Cybistax donnell-smithii</i>)	Biomasa = $e^{(1.469255+0.000914 \text{ DAP} + 0.470835 \text{ altura}-0.013751 \text{ altura}^2 + 0.000676 \text{ DAP}^2)}$	91%
Santa María (<i>Calophyllum brasiliense</i>)	Biomasa = $e^{(3.8926 + 0.03825 \text{ DAP} + 0.06518 \text{ altura})}$	97%
San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>)	Biomasa = $e^{(4.420177+0.061182\text{DAP}-0.134815 \text{ altura} + 0.004806 \text{ altura}^2)}$	80%
Latifoliadas	Biomasa = $e^{(3.852749+0.086911 \text{ DAP}-0.042662\text{altura}-0.000406\text{DAP}^2+0.002021 \text{ altura}^2)}$	89%

7.3 Los índices o factores de expansión encontrados para las especies investigadas son: *Cybistax donnell-smithii* = 1.24; *Calophyllum brasiliense* = 1.19 y *Vochysia guatemalensis* = 1.17. Estos índices pueden ser utilizados para corregir datos de inventarios forestales, que son los datos que se utilizarán en los modelos generados; ya que cuando esta es la situación, solo se toman en cuenta el volumen comercial del árbol, despreciando la biomasa acumulada en hojas, ramas y ramillas.

7.4 Esta investigación permitió comprobar que los árboles jóvenes con menor biomasa, contienen menos dióxido de Carbono fijado, mientras que los árboles adultos contienen más dióxido de Carbono fijado antes de ser emitido a la atmósfera.

8 RECOMENDACIONES

1. Que los modelos generados se utilicen para elaborar proyectos de fijación de Carbono en bosques ya sea de las especies indicadas o de latifoliadas en general (mientras no existan estudios específicos). Debe tenerse precaución de no estimar biomasa para plantaciones cuyos DAP y altura estén fuera del rango utilizado en el presente estudio.
2. Que los modelos generados se utilicen como parte de la metodología para generar un proyecto regional de fijación de Carbono específicamente para plantaciones forestales con las especies seleccionadas en esta investigación, ya que en las ecuaciones de biomasa requieren únicamente de variables como el DAP y la altura, que eventualmente serían homogéneos, por lo que se podría contar con información proveniente de inventarios forestales y conocer el Carbono presente por áreas específicas.
3. Generar ecuaciones de biomasa para otras especies latifoliadas de importancia económica en Guatemala.
4. El Carbono que cada árbol puede fijar a través de sus procesos fotosintéticos, es escaso por árbol, comparado con las grandes cantidades de dióxido de Carbono emitido a la atmósfera; por otro lado la demanda de proyectos de fijación de dióxido de Carbono es elevada y con cantidades que una sola finca produce no se podría abastecer ni mucho menos competir con otros países que venden proyectos grandes. Esto indica la necesidad de trabajar con proyectos de grandes extensiones de bosques para que la fijación de Carbono sea significativa. En este caso, sería una excelente oportunidad para implementar los modelos generados en las plantaciones forestales debido a que su masa boscosa está distribuida en grandes extensiones.
5. Para estudios futuros con respecto de este tema, incluir como variable predictora además de las variables DAP y altura, la variable edad del árbol.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. AIRD, P. 1994. Conservation for the sustainable development of forest worldwide: a compendium of concepts and terms. *The Forestry Chronicle* 170(6):p 17-120.
2. ALPIZAR, W. 1997. Proceso metodológico para la cuantificación de carbono de la biomasa en pie en bosque natural y sus estimaciones de no emisión y fijación. Costa Rica, Oficina Costarricense de Implementación Conjunta. s.p.
3. AMBIENTE ECOLÓGICO. 1999. Argentina. Revista 53. (<http://www.ambiente-ecologico.com/revist53/alnaft53.htm>)
4. ASOCIACIÓN BECARIA GUATEMALTECA. 1991. Guauhitemala, lugar de bosques. Guatemala, Piedra Santa. 65 p.
5. BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. Urbana, Illinois, FAO. 55 p.
6. CAILLIEZ, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Italia, FAO. 92 p. (Estudio FAO: Montes 22/1).
7. CATIE. PROSEFOR. 1999. *Calophyllum brasiliense* Camb. Nota Técnica sobre Manejo de Semillas Forestales (C.R.) (Estudio FAO: Montes 22/1). no. 58. 2 p.
8. COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA. 1999. Biomasa. México. (<http://www.conae.gob.mx/renovables/biomasa.html>)
9. CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL. 1998. El cambio climático global y el efecto invernadero; el rol de los bosques como mitigadores de las emisiones de CO₂. Chile. 33 p.
10. CUBERO, J.A.; ROJAS, S.R. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.f.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hojarasca y Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Tesis. Lic. CC Forestales. Costa Rica, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. 68 p.
11. FORO NUCLEAR. 1999. España. (<http://www.foronuclear.org/faq10.htm>)
12. FSC. 1996. Principios y criterios para el manejo de bosques naturales. Forest Stewardship Council (EE.UU.) 1(12): 250 p.
13. FUNDACIÓN SOLAR. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en el uso del suelo. Guatemala. 33 p.
14. GLOBAL WARMING. 1999. The high cost of the kyoto protocol. EE.UU. (<http://www.api.org/globalclimate/wefastateimpacts.htm>)
15. GODOY, J.C. 2001. Potencial de la venta de captura de carbono para el sector forestal. Presentado en: Día Forestal (2001, Guatemala). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 4 p.

16. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. 1999. Palo blanco. Ficha Técnica de Especies (Gua) 8(1):2.
17. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. 1999. San Juan. Ficha Técnica de Especies (Gua) 6(1):2.
18. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA. 1989. Desarrollo de una técnica no-destructiva para estimar biomasa en el bosque muy húmedo tropical. Costa Rica. 44 p.
19. KREBS, C.J. 1985. Ecología. Trad. Jorge Blanco. 2 ed. México, Harla. 753 p.
20. MORALES, F.A. 2000. Estimación de una ecuación de biomasa para cuantificar el carbono que fija el árbol de hule (*Hevea brasiliensis*) en las plantaciones de la costa sur de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala, Centro Universitario de Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 69 p.
21. NETER, J. et al. 1996. Applied lineal statistical models. 4 ed. Boston, USA. Irwin. 1408 p.
22. PÉREZ-BATALLÓN, P. et al. 1998. Edafología. Flujos de metano y óxido de nitrógeno en un suelo forestal del norte de España bajo diferentes manejos de restos de corta. Volumen 5. España. p 47-57. (<http://edafologia.ugr.es/Revista/Tomo5/Art47Texto.html>)
23. RODRÍGUEZ, J.; CORRALES, L. 1998. Potencial de carbono y fijación de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de la república de Guatemala. En: Taller desarrollo de una estrategia centroamericana de competitividad en los mercados internacionales de carbono. Costa Rica. (1., 1998). 1-44 p.
24. SEMINARIO TALLER FORMULACIÓN Y DESARROLLO DE PROYECTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. 1999. (1., 1999, Guatemala). Memoria. Organizada por Fundación Solar. Guatemala.
25. STATISTICA. 2002. StatSoft, Inc. EE.UU. (<http://www.statsoft.com>)

ANEXOS

Anexo I

Cuadro 16. Estimación de carbono para la especie Palo Blanco (*Cybistax donnell-smithii*) en toneladas de carbono por árbol.

ESPECIE	DAP (cm)	ALTURA (m)	BIOMASA (kg)	TONELADAS DE CARBONO/ÁRBOL
Palo Blanco	5.1	4	5.65	0.0026
Palo Blanco	13.5	7.5	60.043	0.03
Palo Blanco	14.5	6	35.97	0.02
Palo Blanco	14.7	9	63.22	0.03
Palo Blanco	17.5	9	109.59	0.05
Palo Blanco	20.1	8	131.95	0.06
Palo Blanco	20.3	10	107.08	0.05
Palo Blanco	20.8	11	166.36	0.08
Palo Blanco	30.7	15	625.39	0.28
Palo Blanco	30.9	19	553.51	0.25
Palo Blanco	32.3	15.5	637.26	0.29
Palo Blanco	37.3	20	858.24	0.39
Palo Blanco	43.3	16	1415.49	0.64
Palo Blanco	45.9	15	1353.34	0.62
Palo Blanco	48.3	16	1413.48	0.64
Palo Blanco	48.6	18	704.57	0.32
Palo Blanco	51.1	12	690.31	0.31
Palo Blanco	53.8	10	642.83	0.29
Palo Blanco	60.1	15	2838.73	1.29
Palo Blanco	62	22	2348.33	1.07

Cuadro 17. Estimación de carbono para la especie Santa María (*Calophyllum brasiliense*) en toneladas de carbono por árbol.

ESPECIE	DAP (cm)	ALTURA (m)	BIOMASA (kg)	TONELADAS DE CARBONO/ÁRBOL
Santa María	3.8	6.5	4.84	0.0024
Santa María	6.8	8.5	11.69	0.0057
Santa María	10	12	55.97	0.027
Santa María	14.8	15	126.73	0.062
Santa María	15.8	16	109.38	0.053
Santa María	23.7	23	306.08	0.15
Santa María	25.4	22	420.33	0.20
Santa María	29.8	20	392.94	0.19
Santa María	30.8	23	736.75	0.36
Santa María	37.4	26	1405.40	0.68
Santa María	40	26	1204.23	0.58
Santa María	42.9	30	1573.30	0.76
Santa María	45	26	1713.43	0.83
Santa María	45	24.5	1526.36	0.74
Santa María	46.4	30	2201.02	1.07
Santa María	52.1	31	2635.86	1.28
Santa María	64.5	28	3337.90	1.62
Santa María	64.9	28	3482.31	1.69
Santa María	65.6	29	4698.43	2.28
Santa María	67.5	30	4241.03	2.06

Cuadro 18. Estimación de carbono para la especie San Juan (*Vochysia guatemalensis*) en toneladas de carbono por árbol.

ESPECIE	DAP (cm)	ALTURA (m)	BIOMASA (kg)	TONELADAS DE CARBONO/ÁRBOL
San Juan	6.2	5.8	41.42	0.02
San Juan	6.4	6	6.82	0.0031
San Juan	8.2	5.5	24.30	0.01
San Juan	11.9	10	196.89	0.09
San Juan	16.1	7	54.00	0.02
San Juan	18.9	14	92.38	0.04
San Juan	19	10	88.10	0.04
San Juan	20.5	11	101.68	0.04
San Juan	35.4	25	567.23	0.25
San Juan	35.7	18	514.70	0.23
San Juan	37.5	28	608.94	0.27
San Juan	39.8	24	679.79	0.31
San Juan	47	25	761.38	0.34
San Juan	48.3	24	1123.72	0.50
San Juan	52.2	27	1641.76	0.74
San Juan	53.3	25	1373.53	0.62
San Juan	53.5	28	3420.68	1.54
San Juan	54	28	1265.41	0.57
San Juan	55.8	22	1318.53	0.59
San Juan	60.6	18	1441.72	0.65

Anexo II. Factores de Expansión de las especies investigadas.

Cuadro 19. Cálculo del Factor o Índice de Expansión para Santa María *Calophyllum brasiliense*.

ÁRBOL	BIOMASA FUSTE	BIOMASA TOTAL	FEB
1	348.85	392.94	1.13
2	3353.95	3482.31	1.04
3	673.7170	736.75	1.09
4	3889.16	4241.03	1.09
5	268.20	306.09	1.14
6	317.88	420.33	1.32
7	1295.46	1573.30	1.21
8	96.51	109.38	1.13
9	1101.18	1204.23	1.09
10	1060.66	1405.40	1.32
11	46.31	55.97	1.21
12	103.71	126.73	1.22
13	1395.47	1713.43	1.23
14	2876.15	3337.90	1.16
15	1927.19	2201.02	1.14
16	1867.03	2635.86	1.41
17	3.43	4.84	1.41
18	9.55	11.69	1.22
19	1334.63	1526.36	1.14
20	4421.45	4698.43	1.06
		Factor de Expansión.	1.19

FEB: Factor o Índice de Expansión.

Cuadro 20. Cálculo del Factor o Índice de Expansión para San Juan *Vochysia guatemalensis*.

ÁRBOL	BIOMASA FUSTE	BIOMASA TOTAL	FEB
1	700.23	761.38	1.09
2	590.48	679.79	1.15
3	1352.73	1641.76	1.21
4	39.00	41.42	1.06
5	4.72	6.82	1.44
6	533.61	567.23	1.06
7	463.63	514.70	1.11
8	193.98	196.89	1.01
9	993.55	1123.72	1.13
10	84.88	92.38	1.09
11	570.48	608.94	1.07
12	21.65	24.30	1.12
13	36.84	54.00	1.46
14	1164.05	1373.53	1.18
15	66.92	88.097	1.32
16	79.62	101.68	1.28
17	1053.37	1318.53	1.25
18	1123.62	1441.72	1.28
19	3311.43	3420.68	1.03
20	1191.78	1265.41	1.06
		Factor de Expansión	1.17

FEB: Factor o Índice de Expansión.

Cuadro 21. Cálculo del Factor o Índice de Expansión para Palo Blanco *Cybastax donnell-smithii*.

ÁRBOL	BIOMASA FUSTE	BIOMASA TOTAL	FEB
1	1757.15	2348.33	1.34
2	772.27	858.24	1.11
3	535.96	625.39	1.17
4	452.31	553.51	1.22
5	57.58	63.22	1.10
6	81.98	109.59	1.34
7	85.97	107.08	1.24
8	33.44	35.97	1.08
9	120.78	166.36	1.38
10	100.89	131.95	1.31
11	43.12	60.04	1.39
12	4.84	5.68	1.17
13	574.12	637.26	1.111
14	1028.16	1353.34	1.32
15	967.98	1415.49	1.46
16	561.59	690.31	1.23
17	609.92	642.83	1.054
18	608.49	704.57	1.16
19	1285.04	1413.48	1.10
20	1856.84	2838.73	1.53
		Factor de Expansión	1.24

FEB: Factor o Índice de Expansión.

Anexo III.

Cuadro 22. Análisis de carbono de muestras de las tres especies investigadas, generado en la Universidad de Indiana, Estados Unidos, utilizando un analizador elemental CHN de Perkin Elmer.

ANÁLISIS DE CARBONO					
CHN Run #	Código/Identif.	Nombre de la muestra	%C	%N	Pasa/pierde
1	CO		69.08	10.04	
2	B		79.00	59.00	
3	K		14.41	5.196	
4	K		14.388	5.197	
5	K		14.391	5.123	
6	B		78.00	59.00	
7	ACET		71.24	10.37	pasa
8	SMA11CBRM	Santa María árbol 11, Ramas	48.33	0.72	pasa
9	SMA11CBRL	Santa María árbol 11, Ramillas	48.92	0.38	pasa
10	SMA11CBH3	Santa María árbol 11, Hojas	48.78	1.04	pasa
11	SMA2CBH	Santa María árbol 2, Hojas	49.66	1.06	pasa
12	SMA2F	Santa María árbol 2, Fuste	47.00	0.06	pasa
13	PBA1H	Palo Blanco árbol 1, Hojas	46.90	4.12	pasa
14	PBA1RA	Palo Blanco árbol 1, Ramilla	44.24	1.08	pasa
15	PBA1RM	Palo Blanco árbol 1, Ramas	46.09	0.47	pasa
18	PBA1C3	Palo Blanco árbol 1, Corteza	42.62	2.33	pasa
19	PBA1SF	Palo Blanco árbol 1, Fuste	47.55	0.34	pasa
20	ACET		71.49	10.15	pasa
21	SMA2C	Santa María árbol 2, Corteza	52.11	0.37	pasa
22	SMA2RM	Santa María árbol 2, Ramas	47.04	0.18	pasa
23	SMA2RL2	Santa María árbol 2, Ramillas	47.29	0.24	pasa
30	PBA2H	Palo Blanco árbol 2, Hojas	49.54	3.87	pasa
31	PBA2RL	Palo Blanco árbol 2, Ramillas	44.62	0.86	pasa
32	PBA2RM	Palo Blanco árbol 2, Ramas	44.98	0.53	pasa
33	PBA2C	Palo Blanco árbol 2, Corteza	41.64	1.66	pasa
34	PBA2SF	Palo Blanco árbol 2, Fuste	47.30	0.89	pasa
35	ACET		71.32	10.16	pasa
CHN Run #	CHN ID	Nombre de la muestra	%C	%N	Pasa/pierde
1	CO		71.23	10.18	
2	B		98.00	70.00	
3	K		14.552	5.101	
4	K		14.552	5.308	
5	K		14.49	5.27	
6	B		92.00	64.00	
7	ACET		70.51	10.19	pasa
8	SMA4RM69	Santa María árbol 4 Ramas	40.21	0.56	pasa
9	B		104.00	63.00	pasa

10	SMA4H69	Santa María árbol 4 Hojas	51.09	1.16	pasa
11	SMA4F	Santa María árbol 4 Fuste	47.91	0.06	pasa
12	SMA4C69	Santa María árbol 4 Corteza	47.49	0.5	pasa
13	SMA4RL69	Santa María árbol 4 Ramillas	51.54	0.6	pasa
14	ACE20	ACET	71.23	10.26	pasa
CHN Run #	CHN ID	Nombre de la muestra	%C	%N	Pasa/pierde
1	CO		70.84	10.02	
2	B		98.00	68.00	
3	K		14.53	5.113	
4	K		14.496	5.115	
5	K		14.525	5.282	
6	B		84.00	60.00	
7	ACET		71.16	10.21	pasa
8	SJA4H	San Juan árbol 4 Hojas	40.69	1.82	pasa
9	SJA4RL	San Juan árbol 4 Ramillas	45.25	0.51	pasa
14	ACET		71.45	10.32	pasa
15	SMA8HL	Santa María árbol 8 Hojas	51.20	1.27	pasa
16	SMA8RM	Santa María árbol 8 Ramas	48.7	0.26	pasa
17	SMA8RL	Santa María árbol 8 Ramillas	50.69	0.47	pasa
18	SJA1H	San Juan árbol 1 Hojas	41.09	1.52	pasa
19	SJA1RL	San Juan árbol 1 Ramillas	44.84	0.36	pasa
20	SJA1F	San Juan árbol 1 Fuste	45.47	0.08	pasa
21	SJA1RM	San Juan árbol 1 Ramas	45.29	0.25	pasa
22	SJA1C	San Juan árbol 1 Corteza	45.56	0.47	pasa
23	ACEI		70.69	10.27	pasa
CHN Run #	CHN ID	Nombre de la muestra	%C	%N	Pasa/pierde
1	CO		70.99	10.44	
2	B		46.00	44.00	
3	K		14.471	5.339	
4	K		14.495	5.35	
5	K		14.512	5.359	
6	B		41.00	44.00	
7	ACET		69.48	10.13	pasa
12	B		41.00	32.00	pasa
13	SJVG3H	San Juan árbol 3 Hojas	41.80	2.03	pasa
14	SJA3C	San Juan árbol 3 Corteza	48.31	0.64	pasa
15	SJA3F	San Juan árbol 3 Fuste	46.64	0.14	pasa
16	SJA3RM	San Juan árbol 3 Ramas	46.89	0.49	pasa
17	SJA3RL	San Juan árbol 3 Ramillas	46.40	0.61	pasa
18	ACET		70.59	10.48	pasa

En donde:

CHN Run # :

Se refiere a las muestras sometidas al análisis, se muestrearon en grupos debido a la gran cantidad de muestras.

Código/Identif.:	Se refiere al código del elemento analizado, es decir, boro, potasio, óxido de carbono, etc.
Nombre de la muestra:	Indica la especie analizada el número de árbol y la sección (hojas, ramas, ramillas, fuste, corteza).
% C:	Porcentaje de carbono encontrado en la muestra.
% N:	Porcentaje de nitrógeno encontrado en la muestra.
Pasa/pierde:	Se refiere a la aceptación o rechazo de la muestra en cuanto a los contenidos aceptables de carbono y nitrógeno.

Anexo IV. Boleta de campo.

Especie: _____ # de árbol: _____

BL 1

Fecha: _____

BOLETA PARA DATOS DE CAMPO
(Estudio de biomasa)

Finca: _____ Relieve: _____

Pendiente: _____ % Suelo: _____

1. MEDIDAS TOTALES DEL ÁRBOL:

DAP _____ cm Altura copa: _____ m Altura: _____ m Longitud: _____ m

2. DATOS DE FUSTE (Fu):

No. secc.	m	Ø (cm)	Vol. (m³)	Peso (g)	no. muestra	Peso con bolsa	Peso bolsa	Peso húmedo
To								
1	2							
2	4							
3	6							
4	8							
5	10							
6	12							
7	14							
8	16							
9	18							
10	20							
11	22							
12	24							
13	26							
14	28							
15	30							
TOTAL								

3. MUESTRAS DE HOJAS (Ho):

No. muestr	Peso con bolsa	Peso bolsa	Peso húmedo

Peso total de Ho: _____ kg

4. MUESTRAS DE RAMAS (Ra):

No. muestr	Peso con bolsa	Peso bolsa	Peso húmedo

Peso total de Ra: _____ kg

5. MUESTRAS DE RAMILLAS (Rll):

No. muestr	Peso con bolsa	Peso bolsa	Peso húmedo

Peso total de Rll: _____ kg

CÁLCULOS PARA ÍNDICE DE EXPANSIÓN:

Anexo V. Boleta de laboratorio.

Especie: _____ # de árbol: _____

Fecha: _____

-BOLETA PARA DATOS DE LABORATORIO (Estudio de biomasa)

1. ANÁLISIS DE DENSIDAD (Heimlich y Lasten)

No. mues	Ø (cm) c/cz	Ø (cm) s/cz	F (g) c/cz	P (g) s/cz	P cz (g)	Peso bolsa papel	Ps (g) radaja	Ps (g) cz	Tara	W (g) radaja	W (g) radaja	Vol. Radaja	W (g) cz	W (g) cz	Vol. cz

2. CONTROL DE PESOS Y CONTENIDO DE HUMEDAD

IDENTIFICACIÓN DE SUBMUESTRA	1º horno	Peso húmedo (g) con bolsa		Peso bolsa plásti.		Peso bolsa papel		Peso 24 hrs.			Peso 48 hrs.			Peso 72 hrs.			Peso 96 hrs.			Peso húmedo (g)		Peso seco (g)		Chº Phº	
		Peso húmedo (g) con bolsa		Peso bolsa plásti.		Peso bolsa papel		Peso 24 hrs.			Peso 48 hrs.			Peso 72 hrs.			Peso 96 hrs.			Peso húmedo (g)		Peso seco (g)		Chº Phº	
HH1																									
HH2																									
HH3																									
HH4																									
HH5																									
HH6																									
HH7																									
HH8																									
HH9																									
HH10																									
HH11																									
HH12																									
HH13																									
HH14																									
HH15																									
HH16																									
HH17																									
HH18																									
HH19																									
HH20																									
HH21																									
HH22																									
HH23																									

ARBOL No. 1

DAP=62 H = 22 L = 3.40

SECCIONES DE MADERA Y SUS CORTEZAS

Identificación	Peso verde	Peso seco al horno	Volumen verde (cm ³)	Diámetro (cm)	GEB (gr/cm ³)	CH ⁿ S	CH ⁿ H ⁿ
Fu 1	3200	1846	3345	57.24	0.5519	0.73	0.42
Fu 2	5400	2965	4970	38.45	0.5966	0.82	0.45
Fu 3	330	199	300	11.23	0.6633	0.66	0.40
Cz 1	400	108	390		0.2795	2.67	0.73
Cz 2	1000	283	825		0.3430	2.53	0.72
Cz 3	120	24	120		0.2000	4.00	0.80

CUBICACIÓN DE FUSTE

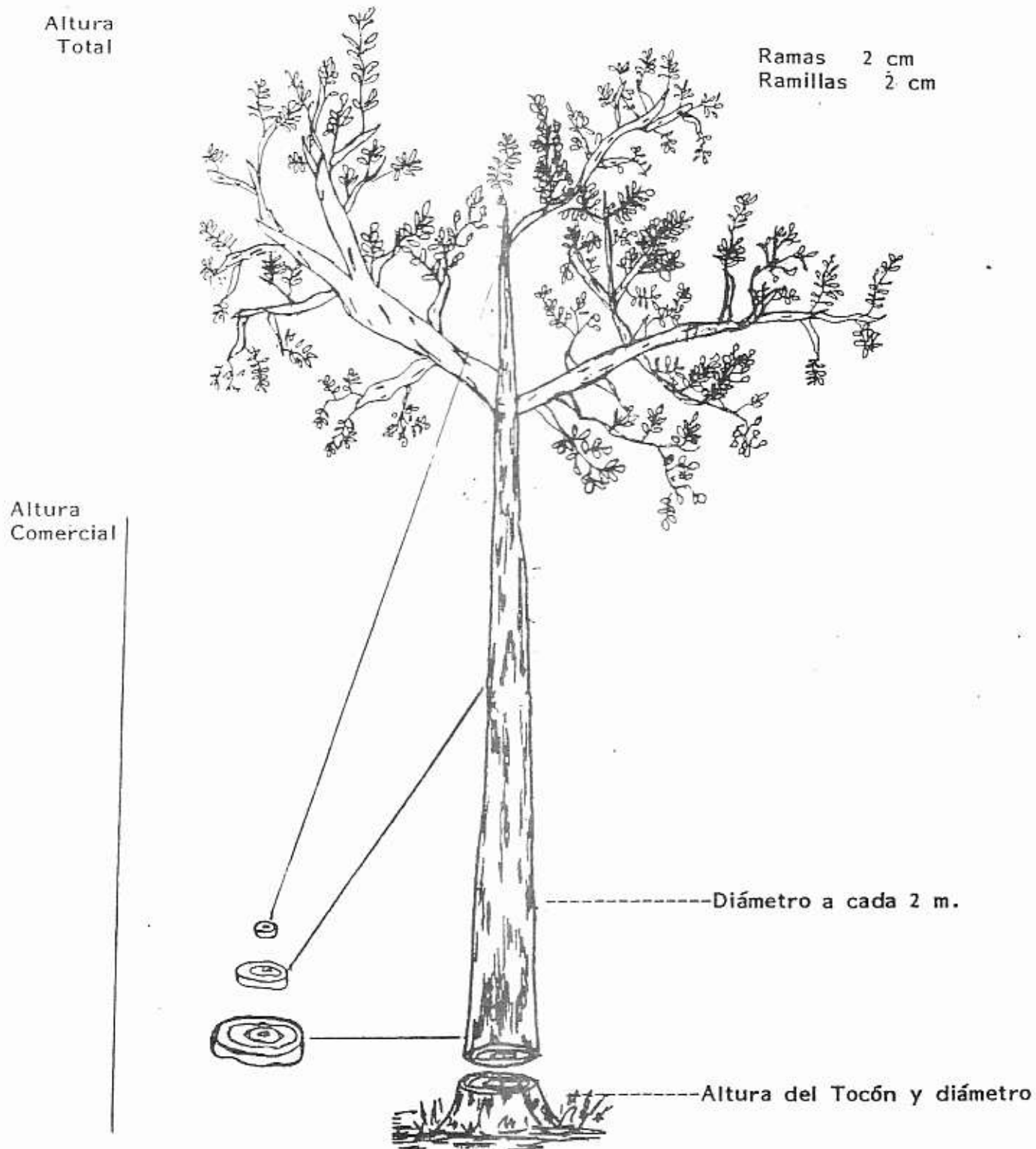
Troza	Diámetro menor	Diámetro mayor	Largo troza	Volumen Ti
T-2	0.607	0.777	2.00	0.7635
2a4	0.556	0.607	2.00	0.5322
4a6	0.462	0.556	2.00	0.4104
6a8	0.425	0.462	2.00	0.3095
8a10	0.426	0.425	2.00	0.2844
10a12	0.391	0.426	2.00	0.2626
12a14	0.456	0.391	2.00	0.2834
14a16	0.271	0.456	2.00	0.2210
16a18	0.245	0.271	2.00	0.1048
18a20	0.122	0.245	2.00	0.0588
20a22	0.081	0.122	2.00	0.0168
22a24	0.040	0.081	1.40	0.0045
				3.2520

Identificación	GEBL	GEBM	GEBT	VF1	GEB1	VF2	GEB2	VF	GEM	GEM final
Rodajas	0.5519	0.5966	0.6633	3.0670	0.5742	0.1850	0.6300	3.2520	0.5774	0.5403
Cortezas	0.2795	0.3430	0.2000	3.0670	0.3113	0.1850	0.2715	3.2520	0.3090	
%cor/madera	0.1111	0.1563	0.2667	3.0670	0.1337	0.1850	0.2115	3.2520	0.1381	

HOJAS

Identificación	Peso verde	Peso seco al horno	CH ² S	CH ² H ²
1	300	95	2.157894737	0.683333333
2	263	85	2.094117647	0.67680608
3	262	85	2.082352941	0.67557252

Peso seco total fuste	Peso seco follaje	Peso seco ramas	Peso seco ramillas
1757.154	58.74121	458.3874	05351



Anexo VII Figura 14. Muestreo del árbol.



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: " ESTIMACION DE BIOMASA Y CUANTIFICACION DE CARBONO PARA
Vochysia guatemalensis , Calophyllum Brasiliense y Cy-
bistax downell - Smithii EN BOSQUES NATURALES DE GUA-
TEMALA.

DESARROLLADA POR LA ESTUDIANTE: GLENDA AMARILIS LEE PINTO

CARNET: 9110703

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Miguel Angel Morales Cayax
Ing. Agr. Eugenio Oliverio Orozco y Orozco
Ing. Agr. José Miguel Leiva Pérez

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha
cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía
de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales
A S E S O R

Ing. Agr. M.Sc. Roderico A. Estrada Mui
A S E S O R

Dr. Ariel Ortiz López
DIRECTOR DEL IIA

I M P R I M A

Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco
D E C A N O

AO/nm

c.c. Control Académico

IIA

Archivo

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: ilusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>