

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE PETEN
INGENIERIA FORESTAL**

**ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO ALMACENADO
EN EL ÁREA DE APROVECHAMIENTO ANUAL 2001,
UAXACTÚN, FLORES, PETÉN.**

TESIS



**PRESENTADO AL CONSEJO REGIONAL
DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE PETÉN
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR
SUAMY RAFAEL ÁGUILAR MENDOZA**

En el acto de investidura como

INGENIERO FORESTAL

en el grado académico de

LICENCIADO

Santa Elena, Petén, Guatemala, Octubre del 2001

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CONSEJO REGIONAL DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE PETÉN

PRESIDENTA: Licda. Herminia del Pilar Sagastume
Miranda.

SECRETARIO: Lic. Mario Enrique Zetina Aldana.

COORDINADOR ACADÉMICO: Ing. José Francisco Contreras Reinoso.

REPRESENTANTES DOCENTES:
Dr. Carlos Antonio Kuylen Morales.
Ing. Agr. Carlos Enrique Mas Escalera.

REPRESENTATES ESTUDIANTILES: Br. Domingo Morentes.
Br. Oscar Roberto Fión Ozaeta.

ASESOR: Ing. Agr. Mario René Rodríguez Lara

ACTO QUE DEDICO A:

Dios nuestro Padre:	Fuente de vida, amor y esperanza.
Mis Padres:	Carlos Emilio Aguilar Pulido y Noemí Elena de Aguilar por su confianza y empuje en la consolidación de mis metas.
Mi Esposa:	Mildred Conzuelo Carrera Cuellar, compañera de mi vida, con mucho amor y agradecimiento por el apoyo que me ha dado para la realización del presente.
Mis hermanos:	Jairo Gebbel y Anita del Carmen Aguilar Mendoza con cariño y gratitud mostrada hacia mi persona.
Mis sobrinitos:	José Carlos Leonel y Ricardo Emilio Chacón Aguilar, como estímulo para su superación.
Mis suegros:	José Francisco Carrera Alvarado y Blanca Mirtala Cuéllar Oliva, con respeto y estima.
Mis cuñados:	Leonel Antonio Chacón Golib, José Francisco y Sandra Marisol Carrera Cuéllar, por compartir conmigo este logro.
Un amigo y hermano:	Rogelio Guevara Carvajal y Familia, gracias por su amistad y hermandad.
Mis familiares y amigos en general:	Con respeto y cariño.

TESIS QUE DEDICO A:

Guatemala:	Nación grande y promisoría.
Petén:	Manto verde de esperanza.
Mis centros educativos:	Centros que cimentaron mi educación.
Universidad de San Carlos de Guatemala:	Alma mater.
Centro Universitario de Petén:	Con cariño y agradecimiento.
Mis asesores:	Ing. Agr. Mario Rodríguez Lara y Msc. Milena Segura por sus sabios consejos.
Mis compañeros y amigos:	En especial a Msc. José Román Carrera, Sr. Orlando Aguilar Melendez, y Msc. Fernando Carrera, por su apoyo incondicional.
Mis catedráticos:	Con respeto y agradecimientos.
Mis compañeros estudiantes:	A todos muchas gracias, pero en especial a Mario Eduardo Rivas Gonzáles por su acompañamiento en la fase de campo.
El profesional:	Ing. For. Gustavo Pinelo por compartir sus conocimientos.
Uaxactún:	Animo y adelante con determinación.

AGRADECIMIENTOS:

Al Proyecto CATIE/LUCCAM, por el financiamiento otorgado para la ejecución de este proyecto de investigación, esperando su satisfacción y conformidad.

Al Dr. Markku Kanninen, por la confianza y la oportunidad de realizar la presente investigación.

A Msc. Milena Segura e Ing. Agr. Mario Rodríguez Lara por su valiosa asesoría durante el desarrollo de la presente investigación.

Al Sr. Orlando Aguilar Melendez, Msc. José Román Carrera y Msc. Fernando Carrera por el apoyo brindado.

A la Licda. Herminia del Pilar Sagastume Miranda, Directora del CUDEP, por su ánimo y confianza hacia mi persona.

Al Lic. Jorge Burgos y P.e.m. Manuel Baldizón por su asistencia en el laboratorio experimental.

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por brindarme su apoyo en el análisis de muestras en el Laboratorio.

A la Organización Manejo y Conservación, OMYC, de la Unidad de Manejo Uaxactún por su valioso apoyo en la ejecución de campo.

Al Consejo Nacional de Areas Protegidas, CONAP, por el apoyo que me brindaron para la presente investigación.

A mis amigos de infancia, en especial, a Ferlandi Rafael Cambranes y Sergio Lickes, por el ánimo y apoyo en la realización de esta tesis.

A mis compañeros de trabajo, en especial, a Victor Hugo, Julián Zetina, Nery Soliz, Anibal Matus, Melvin Hernández, Barbara Ochaeta y Luis Alberto Zepeda.

ÍNDICE GENERAL

Título	Pág.
INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. GENERAL.....	2
2.2. ESPECÍFICOS.....	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	3
4. MARCO TEÓRICO.....	5
4.1. MARCO CONCEPTUAL.....	5
4.1.1. Calentamiento global.....	5
4.1.2. Origen de los gases efecto de invernadero.....	6
4.1.3. Consecuencias del cambio climático para la humanidad.....	7
4.1.4. Acciones de la Comunidad Internacional al cambio climático.....	8
4.1.5. Cuantificación de biomasa y carbono en bosques naturales.....	10
4.1.6. Métodos para calcular el contenido de Biomasa.....	11
4.1.6.1. Cálculos directos.....	11
4.1.6.2. Cálculos indirectos.....	12
4.1.7. Elaboración de modelos matemáticos.....	12
4.1.7.1. Criterios para seleccionar el modelo de mejor ajuste.....	13
4.1.8. Estudios sobre fijación de carbono.....	13
4.1.8.1. Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica.....	13
4.1.9. Inventario de carbono en el sur del lago Atitlán, Sololá, Guatemala.....	15
4.1.9.1. Estimación de carbono fijado en bosques de Belice.....	15
4.1.10. Tasa de fijación de carbono (TFC).....	16
4.2. MARCO REFERENCIAL.....	17
4.2.1. Información general sobre el área de estudio.....	17
4.2.1.1. Ubicación del área.....	17
4.2.1.2. Extensión del área de aprovechamiento anual.....	18
4.2.1.3. Vías de acceso.....	19
4.2.1.4. Zona de vida.....	19
4.2.1.5. Características físicas y climáticas.....	19
4.2.1.6. Descripción de la vegetación.....	20
4.2.1.7. Descripción de la fauna.....	21
4.2.1.8. Geología y suelos.....	21
4.2.2. Descripción general sobre el aprovechamiento forestal que se ejecutará en el AAA.....	22
4.2.2.1. Areas de aprovechamiento.....	22
4.2.2.2. Censo comercial.....	22
4.2.2.3. Resultados del censo comercial.....	22
4.2.2.4. Clasificación del volumen total comercial (m ³) a cortar por especie.....	23
4.2.2.5. Árboles, área basal y volumen comercial a aprovechar y reservar	

por especie.....	24
4.2.2.6. Sistema de Aprovechamiento.....	24
5. METODOLOGÍA.....	25
5.1. Estimación de biomasa aérea.....	25
5.1.1. Revisión de datos del censo comercial y parcelas de muestreo del inventario forestal.....	25
5.1.2. Levantamiento de parcelas de medición.....	25
5.1.2.1. Tipo y tamaño de las parcelas.....	25
5.1.2.2. Variables registradas en las parcelas.....	26
5.1.3. Construcción de ecuaciones alométricas para cálculo de biomasa.....	26
5.1.3.1. Fuentes a medir.....	26
5.1.3.2. Registro de datos.....	27
5.1.3.3. Especies muestreadas en el estudio.....	27
5.1.3.4. Biomasa por categoría de vegetación.....	29
5.2. Factor de expansión de biomasa.....	33
5.2.1.1. Análisis de regresión y elección de modelo para estimación de biomasa.....	33
5.3. Cálculo de carbono almacenado.....	34
5.4. Estimación de la biomasa y carbono almacenado para el área de corta anual.....	35
6. RESULTADOS.....	36
6.1. Medición directa de biomasa.....	36
6.1.1. Datos previos para la determinación de biomasa y carbono.....	36
6.1.1.1. Gravedad específica.....	36
6.1.1.2. Fracción de carbono.....	37
6.1.1.3. Determinación de pesos (total, muestra húmeda y seca), porcentaje de materia seca, volumen.....	38
6.1.2. Resultados de Biomasa medidos directamente.....	39
6.1.2.1. Relación de la biomasa del fuste respecto a la de las ramas.....	39
6.2. Estimación de biomasa y carbono almacenado para el área de corta 2001.....	41
6.2.1. Modelos para estimar la biomasa total.....	41
6.2.1.1. Grado de correlación entre variables.....	41
6.2.1.2. Elaboración de modelos para estimar biomasa total.....	43
6.2.1.3. Selección del modelo para calcular la biomasa por categoría de vegetación.....	44
6.2.2. Estimación de biomasa y carbono almacenado en el área de corta anual de Uaxactún.....	44
7. CONCLUSIONES.....	46
8. RECOMENDACIONES.....	48
9. BIBLIOGRAFÍA.....	49
10. ANEXOS.....	52

INDICE DE CUADROS

Título	Pág.
Cuadro 1. Especies seleccionadas según área basal en Tirimbina y Corinto.....	14
Cuadro 2. Valores de Carbono fijado en bosques latifoliados y mixtos.	15
Cuadro 3. Estimación del carbono almacenado en los bosques de Belice.....	16
Cuadro 4. Tasa de fijación de carbono.....	16
Cuadro 5. Especies de fauna silvestre que habitan en Uaxactún	21
Cuadro 6. Diámetro mínimo de corta de las especies censadas que se aprovecharán.	23
Cuadro 7. Clasificación del volumen total, número de árboles y área basal aprovechar por especie.....	23
Cuadro 8. Número de árboles, área basal y volumen a extraer, reservar y de futura cosecha por especie.....	24
Cuadro 9. Area Basal, Volumen e Índice de valor de importancia de las especies muestreadas.....	27
Cuadro 10. Individuos seleccionados arriba de 10 cm de Dap. por clase diamétrica.....	28
Cuadro 11. Componentes por categoría.....	29
Cuadro 12. Gravedad específica promedio para fuste y ramas de cuatro especies forestales de bosque natural.....	36
Cuadro 13. Porcentaje de carbono.....	38
Cuadro 14. Resumen general de los resultados obtenidos de las mediciones a muestras seleccionadas.....	38
Cuadro 15. Promedios de FEB por categoría de vegetación.....	39
Cuadro 16. Grado de correlación de la variable por categoría con la	42
Cuadro 17. Modelos seleccionados para estimar biomasa por categoría de vegetación.	44
Cuadro 18. Biomasa y carbono almacenado en el área de corta anual 2001 en Uaxactún, Flores, Petén.....	45
Cuadro 19A. Gravedad específica de ramas y fuste de los árboles muestreados	53
Cuadro 20A. Modelos para determinar biomasa total en fustales a partir del Dap.....	54
Cuadro 21A. Modelos para determinar biomasa total en latizales a partir del Dap y altura total.	55
Cuadro 22A. Modelos para determinar biomasa total en Brinzales a partir de la altura total.	56
Cuadro 23A. Biomasa y carbono almacenado en el área de corta anual 2001 en Uaxactún, Flores, Petén.....	57
Cuadro 24A. Variables registradas en individuos seleccionados por categoría de vegetación.	57
Cuadro 25A. Etiquetas elaboradas por muestra recolectada.....	57

INDICE DE FIGURAS

Título	Pág.
Figura 1. Ubicación de la Unidad de Manejo Uaxactún.....	18
Figura 2. Distribución, tamaño y tipo de parcela y sub-parcelas.....	26
Figura 3. Gravedad específica por componentes.	37
Figura 4. Relación del diámetro con el FEB en fustales.....	40
Figura 5. Relación del diámetro con el FEB en Latizales.....	40
Figura 6. Relación de la altura con el FEB en brinzales.....	41
Figura 7. Relación biomasa vs. altura comercial y total en fustales.	42
Figura 8. Relación de biomasa vs. altura total y dap en latizales.	43
Figura 9. Carbono almacenado en fustales.....	45
Figura 10A. Registro del Dap en latizales.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11A. Registro de alturas en brinzales.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12A. 1) Peso de ramas; 2) Peso de fuste; 3) Peso de hojas de brinzales.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13 A. 1) Sistema empleado para la gravedad específica; 2) Muestras con parafina.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14A. Recolección de muestras de hojarasca.....	¡Error! Marcador no definido.

ESTIMACIÓN DE BIOMASA AEREA Y CARBONO ALMACENADO EN EL AREA DE APROVECHAMIENTO ANUAL 2001, UAXACTÚN, FLORES, PETÉN.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fué cuantificar la biomasa aérea total y el carbono almacenado en el área de aprovechamiento anual 2001, de la Unidad de Manejo Uaxactún, Flores, Petén. Dicha área se encuentra ubicada en la Zona de Usos Múltiples (que tiene una superficie de 848,400 ha) de la Reserva de la Biosfera Maya y está bajo manejo forestal sostenible.

Para el cálculo del carbono almacenado, se definieron cuatro categorías de vegetación: fustales (con diámetros a la altura del pecho -Dap- iguales o mayores a 10 cms), latizales (entre 1.5 m de altura y 9.9 cm de Dap), brinzales (de 30 cm a 1.5 m. de altura) y hojarasca.

Luego se generaron modelos de biomasa por categoría de vegetación, para ello se escogieron 44 brinzales, 90 latizales y 51 fustales (de 17 especies que representan el 60% del área basal del estrato A), haciendo un total de 185 individuos seleccionados, a los cuales se les registró las variables de diámetro a la altura del pecho (fustales y latizales), altura total (brinzales, latizales y fustales) y altura comercial (latizales y fustales) con el propósito de establecer el grado de correlación con la biomasa total aérea y carbono almacenado.

Cada categoría de vegetación se dividió en componentes: ramas grandes (se cubicaron y se extrajo una muestra para gravedad específica), ramas pequeñas (se pesaron en su totalidad), fuste (se cubicaron y/o pesaron) y tocón (se cubió y se extrajo una muestra para gravedad específica). Con estos datos se calculó la biomasa y carbono almacenado por componentes, por individuos y luego por categoría. Cada muestra fue debidamente etiquetada y pesada.

Se probaron ecuaciones de mejor ajuste con y sin transformaciones. En la selección de los modelos se empleó los siguientes criterios: lógica biológica del

modelo, cuadrado medio del error (CME), índice de Furnival (Furnival 1961), Coeficiente de determinación (R^2) y Coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajustado).

Con los modelos seleccionados, se calculó la biomasa y el carbono almacenado por categoría: en los fustales se utilizó como base los datos de las parcelas de muestreo del inventario forestal integral, el censo del plan operativo anual 2001 y en el caso de los latizales, brinzales y hojarasca, se emplearon los datos de 15 parcelas de 250 m^2 levantadas con el propósito de complementar la información.

Los modelos que mejor ajustaron la biomasa aérea total, en el caso de los fustales, fueron los que están en función del Dap y en el caso de los latizales, fueron los que están en función del Dap, altura total; para estas categorías de vegetación (fustales y latizales) se optó por utilizar el Dap para estimar biomasa total ya que esta variable (Dap) es una medición directa y no una estimación. Todos los modelos tienen transformaciones logarítmicas. En el caso de los brinzales, se encontró una alta correlación entre la altura total y la biomasa total.

La cantidad de biomasa aérea total estimada para el área de corta anual 2001, es de 1,812.49 t., lo cual equivale a 877.76 t. de carbono almacenado. El promedio de biomasa aérea total fue de 78.39 t ha^{-1} y de carbono almacenado de 37.96 tC ha^{-1} .

1. INTRODUCCIÓN.

En 1990, el Gobierno de Guatemala creó la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), situada en la parte norte del Departamento de Petén. La RBM tiene una extensión de 2.1 millones de hectáreas y la finalidad es proteger y conservar los recursos naturales y culturales (Conap 1990).

La administración de la RBM fue encomendada al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Institución creada por el Congreso de la República, según el Decreto 4-89.

La Reserva de la Biosfera Maya fue zonificada en: Zona Núcleo (ZN), Zona de Uso Múltiple (ZUM) y Zona de Amortiguamiento (ZAM) (Conap 1992).

Dentro de la ZUM, está situada la concesión de Uaxactún, unidad de manejo que fue adjudicada a la Sociedad Civil "Organización, Manejo y Conservación" (OMYC), por un periodo de 25 años, la cual es asistida por la Fundación Naturaleza para la Vida (NPV) en todo lo relacionado al manejo integral de las 83,558 ha que componen Uaxactún.

En el año 2000 se iniciaron las actividades de aprovechamiento forestal, en donde, regidos a un Plan de Manejo Integral y sus respectivos Planes Operativos, se implementaron acciones que garantizan un aprovechamiento sostenible de los recursos.

En el año 2001, se realizó el segundo aprovechamiento forestal maderable en el área de corta anual denominada "El Tigre", contando con un área de 265 ha, y en la cual, se realizó la presente investigación cuyo propósito es evaluar el contenido de carbono almacenado para estos bosques y la construcción de ecuaciones alométricas que permita calcular la biomasa aérea existente.

El propósito de este estudio fué establecer la línea base para la creación de proyectos que promuevan el Pago por Servicios Ambientales generados por los recursos forestales y contribuir al manejo sostenible de los mismos.

2. OBJETIVOS.

2.1. GENERAL.

- Identificar el potencial de los bosques con manejo forestal sostenible como sumideros de carbono en Uaxactún, Petén, Guatemala.

2.2. ESPECÍFICOS.

- Estimar la cantidad de biomasa aérea total y el carbono almacenado en el área de corta anual 2001 de Uaxactún, Flores, Petén.
- Construir modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total y carbono almacenado por categoría de vegetación.
- Establecer una base para generar estudios y proyectos que promuevan la generación de bienes y servicios que proporcionan los recursos forestales.

3. JUSTIFICACIÓN.

El efecto invernadero es un fenómeno de calentamiento natural de la atmósfera terrestre, que se produce al ser absorbida la radiación solar infrarroja por determinados componentes atmosféricos, llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI). Este fenómeno ha aumentado considerablemente desde la revolución industrial, produciendo reajustes en el clima, a efectos de equilibrar la energía que llega del sol y la que escapa nuevamente al espacio y es lo que se ha llamado cambio climático (Proyecto Piloto... 2001).

Existe mucha incertidumbre tanto en lo que refiere a la escala como a los impactos del cambio climático. Las proyecciones se basan en tendencias de emisión actuales y dan por sentado que no se realizarán esfuerzos para limitar las emisiones de GEI. Utilizando modelos de circulación global se prevé un aumento adicional de 3,5° C en la mediana de la temperatura global para el año 2100, en caso de no tomar medidas, acompañado de una intensificación de los ciclos hidrológicos, de consecuencias desconocidas. Se espera también, que para el año 2100 el nivel promedio del mar se eleve entre 15 y 95 cm, lo que causará, entre otros daños, inundaciones en zonas costeras bajas. En las regiones de latitud media, las zonas climáticas (y en consecuencia los ecosistemas y las áreas agrícolas) pueden verse desplazadas hacia los polos entre 150 y 550 Km., aproximadamente, con la consiguiente pérdida de biodiversidad (Proyecto Piloto... 2001).

Constituye una necesidad vital realizar los esfuerzos que sean necesarios para tratar de mitigar las emisiones de dichos gases y una manera de hacerlo, es investigando y promoviendo todas aquellas fuentes fijadoras de carbono.

Por tal razón, se realizó una investigación en el Área de Corta Anual ubicada dentro de la Concesión Forestal de Uaxactún, Flores, Petén, en donde se buscará cuantificar la biomasa aérea total y el carbono almacenado de las especies arbóreas dominantes del bosque bajo manejo forestal y construir modelos alométricos para estimar la biomasa del bosque bajo manejo sostenible.

Con la presente investigación se busca establecer, además, una base para la creación de proyectos que promuevan el Pago de Servicios Ambientales generados por los recursos forestales, constituyéndose en un ingreso económico más para el desarrollo de la Comunidad de Uaxactún, Petén.

4. MARCO TEÓRICO.

4.1. MARCO CONCEPTUAL.

4.1.1. Calentamiento global.

Estudios realizados indican que existen factores que tienden a incrementar la temperatura media mundial, y esto es debido a las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de la quema de combustibles fósiles y otras actividades humanas; estos gases ocurren naturalmente en la atmósfera. Absorbiendo la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra, tienen un efecto de protección sobre ella, lo cual se conoce como el *efecto invernadero natural* (Proyecto Piloto... 2001).

El vapor de agua es el más importante de los gases de invernadero en términos de la atmósfera, aunque no es directamente afectado por la actividad humana. Aquellos que sí son afectados por la actividad humana incluyen el bióxido de carbono (CO₂), metano, óxido nitroso, los clorofluorocarbonos (CFCs) y ozono. Estos gases absorben más del 90% de la radiación infrarroja que es emitida desde la Tierra. Como resultado, el calor es atrapado en la atmósfera, creando una temperatura superficial promedio de 15°C. Sin estos gases de invernadero, la superficie de la Tierra sería alrededor de 30°C más fría. Recientemente, la concentración de estos gases se ha incrementado rápidamente, produciendo un *gran* efecto invernadero (Figura No.1).

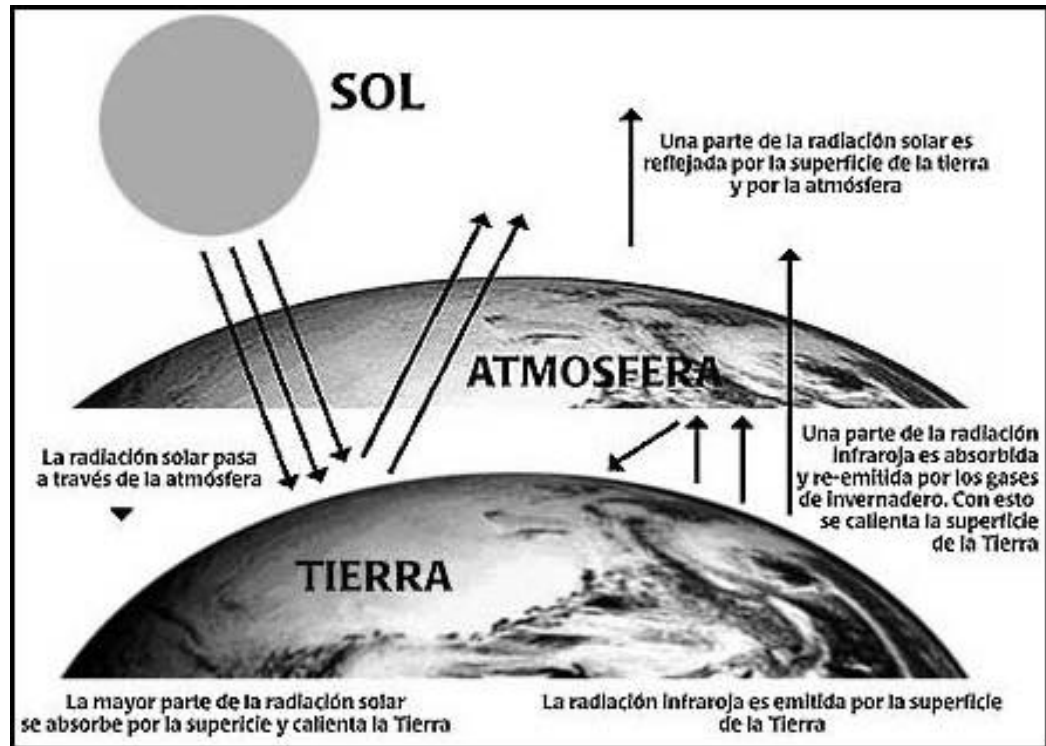


Figura 1. Absorción de la radiación infrarroja por las nubes y gases de invernadero.

4.1.2. Origen de los gases efecto de invernadero.

El origen de los gases de efecto invernadero radica en la quema de combustibles fósiles y aunque es un problema global. Murillo (1997) indica que los principales emisores de CO₂ lo constituyen los países desarrollados (Estados Unidos de América, Rusia, China, Japón y Australia); en América Latina, según las estadísticas, los principales emisores son México y Brasil.

Durante los pasados 200 años, la concentración de CO₂ se ha elevado de 280 partes por millón (ppm) a 350 ppm. Este incremento en la cantidad de CO₂ en la atmósfera ha contribuido aproximadamente el 70% del efecto invernadero producido por la humanidad; el metano al 23% y el óxido nitroso al 7% (Proyecto Piloto...2001).

Se estima que seis millones de toneladas de carbón cada año son emitidas a la atmósfera en la forma de CO₂, como resultado de la quema de combustibles fósiles.

Es importante resaltar que la otra causa mayor en el incremento de la concentración de CO₂ es el cambio de uso de la tierra. La vegetación y la tierra de las áreas forestales retienen de 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que los sistemas agrícolas. Cuando los bosques son convertidos a tierras para agricultura o ganadería, gran parte de este carbono se libera hacia la atmósfera. La liberación total de carbono por la deforestación desde 1850 ha sido aproximadamente de 120 billones de toneladas. Actualmente, la pérdida anual de aproximadamente 17 millones de hectáreas de bosque cada año libera cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono (cerca de 20% de las emisiones totales) (Proyecto Piloto... 2001).

De la misma manera es posible revertir la pérdida de carbono reforestando la tierra, y así recapturar el CO₂ de la atmósfera. Este sistema, conocido como captura de carbono, podría contribuir significativamente a reducir el calentamiento global.

4.1.3. Consecuencias del cambio climático para la humanidad.

Las emisiones de los gases de efecto invernadero amenazan con alterar el equilibrio energético de la Tierra y así elevar la temperatura global. El calentamiento global podría provocar cambios significativos en los patrones climatológicos de la Tierra, alterando los ecosistemas naturales y la estructura de la actividad humana.

En el escenario de un aumento de la temperatura promedio de 2°C, Pedroni (1999), indica que el nivel de los mares se elevaría unos 15-45 cm para el año 2100, causando inundaciones en las zonas bajas y otros daños directos e indirectos. Las zonas agrícolas y los ecosistemas de las latitudes medianas se moverán hacia los polos en unos 150-550 Km. Los bosques, desiertos, praderas

y otros ecosistemas naturales serán objeto de nuevas y frecuentes situaciones de estrés debido a eventos climáticos extremos; algunos de ellos se reduciría su área, se fragmentarán, o se desplazarán. Muchas especies se extinguirán mientras que otras serán favorecidas por los cambios.

Para la humanidad los riesgos son importantes: la seguridad alimentaria probablemente no será afectada a nivel global, pero los cambios regionales afectarán la producción de alimentos, especialmente en países con situaciones precarias y pocos recursos para adaptarse. La disponibilidad de recursos hídricos reflejarán los cambios en el régimen de las precipitaciones y de la evaporación; algunas regiones tendrán sequías severas, e inundaciones frecuentes en otras. La infraestructura, diseñada para climas pasados, se verá dañada sobre todo en las regiones costeras como consecuencia de los eventos climáticos extremos. Las actividades económicas, las áreas urbanas y la salud humana serán afectadas por una serie de efectos directos e indirectos. Los países más pobres serán más vulnerables a los efectos del cambio climático y la posibilidad de conflictos sociales e internacionales aumentará (Pedroni 1999).

La dispersión de los climas tropicales desde el ecuador traería paludismo, encefalitis y otras enfermedades transmitidas por insectos a las zonas anteriormente templadas. Las enfermedades tropicales de la piel, también se diseminarían a muchas áreas que ahora tienen clima templado (Miller 1994).

4.1.4. Acciones de la Comunidad Internacional al cambio climático.

La preocupación de las naciones mundiales ante el problema del cambio climático se hace evidente en distintas Conferencias Mundiales: La Conferencia Mundial sobre el Clima en el año de 1979, Conferencia Mundial sobre el Clima en Villach (1985), Conferencia Mundial sobre el Clima en Toronto en 1988, Conferencia Mundial sobre el Clima en Ottawa, Tata, La Haya, Noordwijk y El Cairo (1990), El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima en 1990, Convención Marco para el Cambio Climático, Cumbre de la Tierra en 1992, en Río de Janeiro, en donde

154 países y la Unión Europea firmaron la Convención Marco para el Cambio Climático, la declaración de Río, la Agenda 21, la convención sobre la Diversidad Biológica y los Principios Forestales, Conferencia de las Partes (COP) en 1995, Primera Conferencia de las Partes (COP-1) en Berlín, Alemania en Abril de 1995, Segunda Conferencia de las Partes (COP-2) en Ginebra, Suiza en 1996, Tercera Conferencia de las Partes (COP-3), realizada en Kyoto, Japón en 1997, en donde se aprobó el Protocolo de Kyoto.

Uno de los más importantes logros, entre todas estas convenciones, es la creación del Protocolo de Kyoto, ya que, se establecieron compromisos legalmente vinculantes para los países desarrollados con el fin de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en por lo menos un 5%, en comparación con los niveles de 1990 para el período de 2008-2012. El protocolo propone reducir emisiones a través de: el compartimiento de responsabilidades, Mecanismos de Desarrollo Limpio, el Comercio de Desechos de Emisión y la Implementación Conjunta (en la que, la inversión extranjera durante la fase piloto demostró los interés económicos del norte pueden converger con las necesidades de desarrollo del sur y proporcionar beneficios ambientales globales) (Pedroni 1999).

Algunas medidas para lograr la fijación de carbono lo constituyen plantaciones forestales, regeneración de bosques con fines de conservación y producción de madera y por medio de la protección de los bosques (Romero 1999).

Romero (1999) indica que en fijación, reducción y almacenamiento de gases con efecto invernadero se pueden impulsar proyectos que actúan como sumideros o depósitos naturales de gases, como: manejo sostenible de bosques productivos; regeneración natural de áreas deforestadas en proceso de degradación; reforestación con campesinos, pequeños, medianos y grandes productores dueños de bosques. Se pueden impulsar proyectos para proteger Parques Nacionales y otras categorías de recursos naturales bajo sistemas nacionales de Áreas Protegidas.

Otros estudios, como el de Campos *et al* (2000), buscan analizar las actividades forestales con Pago de Servicios Ambientales (PSA) y los riesgos asociados a las mismas en conservación de la biodiversidad y fijación, almacenamiento de carbono, así como el impacto social y económicos que generan.

4.1.5. Cuantificación de biomasa y carbono en bosques naturales.

Los inventarios forestales han sido el punto de partida para los estudios de estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales.

Sin embargo, la información de los inventarios introduce errores grandes en las estimaciones, otros errores en las mediciones del volumen original son: el problema de árboles huecos, la conversión de volúmenes medidos a un diámetro mínimo más grandes a un diámetro mínimo más pequeño, el uso de la gravedad específica y la conversión final de biomasa de madera de fustes a biomasa total (Segura 1999).

Los primeros trabajo en las regiones templadas acerca de la estimación de biomasa de árboles y bosques aparecieron a principios del siglo XX, sin embargo para las regiones tropicales los trabajos son escasos y por ellos la información para estimar la cantidad de biomasa es muy pobre.

Los estudios de cálculo de biomasa de los ecosistemas forestales son esenciales para obtener un aproximado de la cantidad de carbono almacenado, ya que la relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1. Algunos estudios en carbono han sido realizados en parcelas permanentes de muestreo en bosques naturales (Segura 1999).

Las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, secundarios y plantaciones forestales en su gran mayoría, asumen el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50% para todas las especies en general, basados en un estudio realizado por Brown y Lugo (Segura 1999).

Los cálculos de biomasa, disponibles para ciertos tipos de bosque húmedo tropical dan una idea general sobre la magnitud de las existencias y la productividad de los mismos (Lamprecht 1990).

Medina (1983) citado por Lamprecht (1990) informa una biomasa de 1160 t/ha para un bosque húmedo siempreverde en Boneo.

Elige (1974) citado por Lamprecht (1990) indica que la biomasa promedio existente para el bosque pluvial del Amazona Central es de 500 t/ha. El mismo autor informa de una cantidad mucho menor, que sólo alcanza 247.5 t/ha para el mismo tipo de bosque.

En otros bosques, los valores de biomasa oscilan aproximadamente entre 250 y 400 t/ha y son en buena medida representativos para los bosques húmedos siempreverdes. En los bosques pluviales de montaña y en los bosques nublados, los valores son similares. En los bosques húmedos deciduos, los valores medios tienen a ser un poco más bajos.

Bruning (1971) citado por Lamprecht (1990) proporciona los siguientes valores de masa aérea en toneladas de madera seca/ha/año para bosques tropicales en estado casi natural y según tipo de clima: Perhúmedo o bosque húmedo siempreverde: 8 t; húmedo o bosque húmedo semisiempreverde: 7 t; subhúmedo o bosque húmedo deciduo 3 t.

4.1.6. Métodos para calcular el contenido de Biomasa.

Existen dos formas para calcular el contenido de biomasa; uno es directamente y otra en forma indirecta.

4.1.6.1. Cálculos directos.

Segura (1999), indica que este método es destructivo y consiste en medir las dimensiones básicas de un árbol, cortarlo y determinar la biomasa a través del peso directo de cada uno de los componentes (raíces, fuste, ramas y follaje), a su vez la biomasa de raíces y ramas se puede subdividir en categorías diamétricas extrapolando los resultados a grandes áreas.

Para las estimaciones de biomasa en bosques tropicales, éste método, proporciona estimados más confiables que los estimados basados en datos de volumen (Brown 1989).

4.1.6.2. Cálculos indirectos.

Este método se emplea cuando el árbol es de dimensiones muy grandes, que es lo usual en bosques naturales, se utilizan los métodos de cubicación y estimado del volumen de las trozas con las fórmulas de Smallian, Huber, entre otros; al final se suman estos volúmenes para obtener el volumen total del fuste o de las ramas gruesas. Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir la gravedad específica verde y la gravedad específica seca o densidad básica (gcm^3).

4.1.7. Elaboración de modelos matemáticos.

Existen una gran variedad de modelos matemáticos para realizar el análisis de regresión, utilizándose generalmente, modelos “alométricos” de la forma $y = ax^b$, donde “y” es biomasa (en toneladas, kilogramos, etc) y “x” es diámetro a 1.30 metros sobre el nivel del suelo (Ortíz 1993).

Ortíz (1993) indica que los modelos alométricos se fundamentan en la hipótesis de que el crecimiento proporcional de alguna característica dimensional de un organismo (variable “y”), es una razón constante (el coeficiente “b”) del crecimiento proporcional de alguna otra característica dimensional del mismo organismo, en este caso la variable “x”. A pesar de ser un modelo no lineal, puede linealizarse utilizando logarítmicos, asimismo el modelo permite la inclusión de la altura del árbol como variable independiente o desarrollar variables combinadas utilizando el diámetro y la altura, por ejemplo d^2h .

El modelo “alométrico” de razón constante puede modificarse a un modelo “alométrico” de razón variable de la forma $y = ax^b e^{cx}$, modelo que transformado logarítmicamente puede expresarse como: $\ln y = \ln a + b \ln x + cx$. La

transformación logarítmica del modelo alométrico facilita el cálculo de los coeficientes de regresión, y además permite obtener ecuaciones en las cuales la varianza de los residuos se mantiene constante (Ortíz 1993).

4.1.7.1. Criterios para seleccionar el modelo de mejor ajuste.

A) Coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajust): Este es uno de los más usados, porque facilita la comparación entre el poder explicatorio de ecuaciones de regresión y diferentes variables independientes, usando diferente número de observaciones. El término ajustado implica que el coeficiente se ajusta por los grados de libertad asociados con la suma de cuadrados. El R^2 -ajustado es siempre más bajo que R^2 no ajustado. En casos excepcionales es posible obtener un valor negativo, si el valor de R^2 es bajo y los grados de libertad son pocos. Este estadígrafo indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo (Segura 1999)

B) Índice de Furnival (IF): Este se utiliza para comparar modelos con y sin transformación de variables, como por ejemplo logarítmicos. El IF en modelos sin transformar es igual al error estándar de la estimación. Entre más pequeño es el IF, es el modelo ajustado (Furnival 1961).

4.1.8. Estudios sobre fijación de carbono.

4.1.8.1. Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica.

Con el propósito de medir la biomasa se seleccionaron dos fincas en donde se había realizado un aprovechamiento forestal. Estas están ubicadas en Horquetas de Sarapiquí como zona intermedia a las áreas de estudio (Segura 1999).

Con un análisis previo a las parcelas permanentes de muestreo de las áreas experimentales de Tirimbina y Corinto se identificaron las especies dominantes según el criterio de área basal por tratamientos silviculturales. Luego se eligió

las especies anteriormente mencionadas y se determinó la biomasa total, la fracción de carbono y la gravedad específica (Segura 1999).

Las especies a muestrear las cuales debían cumplir las siguientes condiciones:

- Especies que correspondan al 50% de área basal (AB) para cada una de las parcelas y por tratamiento de las áreas experimentales.
- De éstas especies se eligieron aquellas que se contaba con al menos un individuo que hubiera sido aprovechado en algunas de las dos fincas seleccionadas en el que se realizó el muestreo de biomasa, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Especies seleccionadas según área basal en Tirimbina y Corinto.

Nombre científico	Corinto		Tirimbina	
	Area Basal	Area Basal	Area Basal	Area Basal
	(m ²)	(m ² ha ⁻¹)	(m ²)	(m ² ha ⁻¹)
<i>Pentaclethra macroloba</i>	103.39	34.46	2.72	1.68
<i>Tapirira guianensis</i>	5.75	2.88	1.15	0.58
<i>Vochysia ferruginea</i>	0	0	6.26	2.27
<i>Carapa guianensis</i>	3.72	1.24	0.41	0.41
<i>Laetia procera</i>	0	0	22.70	7.69
<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	0.86	0.82	0	0
<i>Minquartia guianensis</i>	0	0	16.14	5.38
<i>Inga alba</i>	0	0	1.12	0.37
<i>Micrpholis crotonoides</i>	4.92	3.45	0	0

Fuente: Segura (1999)

Los resultados obtenidos por Segura (1999) fueron:

- Para las fincas ubicadas en la zona de Corinto la biomasa total, el Carbono almacenado y la Tasa de fijación de Carbono, en promedio, fueron de 5569 t (122 t ha⁻¹), 2518 tC (55 tC ha⁻¹) y 2.3 tC ha/año año⁻¹ respectivamente.

- Para las fincas ubicadas en la zona de Tirimbina la biomasa total, el Carbono almacenado y la Tasa de fijación, en promedio, fueron de 3116 T (69 t ha^{-1}), 1437 tC (32 tC ha^{-1}) y $2.3 \text{ tC ha/año año}^{-1}$ respectivamente.

4.1.9. Inventario de carbono en el sur del lago Atitlán, Sololá, Guatemala.

Castellanos citado por Márquez (2000), realizó un inventario de carbono en el nivel de premuestreo en los bosques maduros de la parte sur del lago de Atitlán, Sololá, Guatemala y los resultados de la investigación se presentan a continuación:

Cuadro 2. Valores de Carbono fijado en bosques latifoliados y mixtos.

Clase de Bosque	Número de muestras	Biomasa arriba del suelo (Tn)	Biomasa abajo del suelo (Tn)	Hojarasca (Tn)	Suelos (10cms) (Tn)	Total (Tn)
Mixto	6	207	41	43	49	340
Latifoliado	15	287	58	22	42	410

Fuente: Márquez , L. 2000.

Para todos los bosques muestreados (Cuadro 2), la biomasa arriba del suelo es el mayor contribuyente a sus reservas de carbono, debido principalmente al carbono contenido en los árboles. Los resultados indican que el bosque con mayor reserva de carbono es el bosque latifoliado, el cual cuenta con árboles de mayor Dap; el suelo es la segunda fuente de carbono en importancia para los bosques muestreados y es importante notar que los valores presentados sólo reflejan el carbono contenido en los primeros 10 cm de profundidad. Esto indica que los valores de carbono contenido en el suelo pueden aumentar considerablemente al evaluar un perfil más profundo de suelos, que puede aumentar a 30 cm o más.

4.1.9.1. Estimación de carbono fijado en bosques de Belice.

Corrales (1996), hizo una estimación del Carbono fijado en los bosques de la República de Belice y los resultados que obtuvo se presentan a continuación:

Cuadro 3. Estimación del carbono almacenado en los bosques de Belice.

Superficie (ha)	Carbono almacenado 1996 (t)	Carbono almacenado como CO ₂ en 1996 (t)
947.760	100.002.127	355.674.463

Fuente: Corrales, L. (1996.)

4.1.10. Tasa de fijación de carbono (TFC).

Con base a una ecuación generada en la región, se calculó la tasa de fijación de carbono la cuál es de 1.33 tC ha/año. Las parcelas sometidas a tratamiento fueron las que tuvieron mayores TFC (1.72 y 2.39 tC ha/año) respecto a las parcelas sin tratamiento o testigos las cuales presentaron 0.60 tC ha/año (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tasa de fijación de carbono

Nombre de Parcelas de muestreo permanentes	Tratadas	Testigos	Bt	CA
			(t ha/año)	(tC ha/año)
San Miguel "La Palotada", San Andrés, Petén.	X		3.58	1.72
		x	1.26	0.60
Finca CUDEP*, San Francisco, Petén.	X		4.97	2.39
		x	1.25	0.60
P R O M E D I O			2.76	1.33

Bt: Biomasa total; (t): total; (t ha/año): total de biomasa por ha.; (tC): total de carbono almacenado; (tC ha/año): total de carbono por ha; CA: Carbono almacenado.

* Centro Universitario de Petén, Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.2. MARCO REFERENCIAL.

4.2.1. Información general sobre el área de estudio.

4.2.1.1. Ubicación del área.

El estudio se realizará en el área de aprovechamiento anual (AAA) 2001, de la Unidad de Manejo “Uaxactún”, Flores, Petén, Guatemala; con un área de **83,558 ha**, la cual está ubicada al Norte del Parque Nacional Tikal, dentro de la zona de Uso Múltiple de la RBM , jurisdicción municipal de Flores, Petén. Tiene las colindancias siguientes (Mapa 1):

- Al Norte: Parque Nacional Mirador – Río Azul y el Biotopo Dos Lagunas
- Al Sur: Parque Nacional Tikal
- Al Este: Corredor Biológico La Danta – Tikal – Triángulo
- Al Oeste: Unidad de Manejo Industrial “La Gloria” (Municipio de San José)

El área esta ubicada en las hojas cartográficas, escala 1:50,000, siguientes:

El Ramonal (**2268 I**)

Río Santa María (**2369 III**)

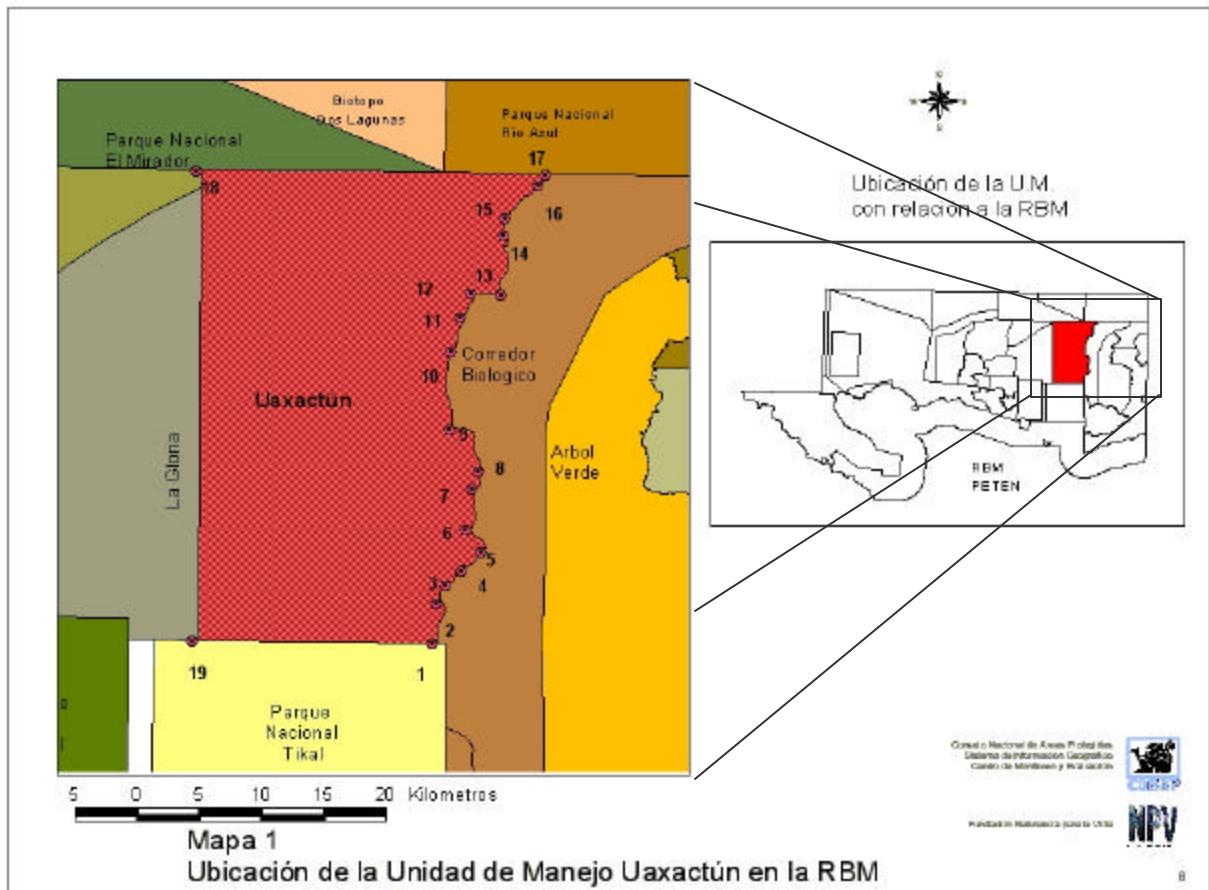
Uaxactún (**2268 II**)

Itún (**2368 IV**)

Tikal (**2267 I**)

Río Azul (**2368 III**)

Figura 1. Ubicación de la Unidad de Manejo Uaxactún



4.2.1.2. Extensión del área de aprovechamiento anual.

El AAA cubre una extensión de 265 hectáreas, equivalente a 5.9 caballerías. Este se divide en dos cuadrantes identificados como A y B cuya extensión es de 110 ha para el "A", y 155 para el cuadrante "B". El AAA 2001 se encuentra en el estrato "A", según el Plan de Manejo Forestal. El perímetro del AAA mide 7,600 m (7.6 Kms.) (NPV 2001).

4.2.1.3. Vías de acceso.

El acceso al área es por asfalto de La Cabecera Municipal de Flores hacia Tikal (60 Km.) y terracería de Tikal a Uaxactún (23 Km.) y de ésta al Área de Aprovechamiento Anual (12 Km.).

4.2.1.4. Zona de vida.

Según De la Cruz (1976), la clasificación de zona de vida para Uaxactún es Bosque Húmedo Subtropical Cálido (bh-St(c)).

4.2.1.5. Características físicas y climáticas.

Las elevaciones que se encuentran dentro de la Unidad de Manejo van desde 150 a 400 msnm. Aproximadamente un 19% del área presenta un relieve plano a ligeramente ondulado; un 36% con relieve desde ondulado a escarpado y un 45% de plano a ondulado (NPV 1999).

Thornwhaite citado por Bámaca (1999), indica que el clima de Uaxactún es de tipo cálido, con invierno benigno semiseco a húmedo y sin estación seca bien definida.

Según datos climatológicos de la estación ubicada en Tikal, a una altura de 200 msnm, latitud 17°/13'/40" y longitud 89°/09'/15" la temperatura media máxima es de 35°C y la media mínima de 20°C, con una temperatura promedio de 25°. La humedad relativa media es de 77% y la evapotranspiración media es de 79.8 mm. La precipitación media anual varía entre 1500 a 3000 mm, con una estación seca con lluvias ocasionales en los meses de enero hasta junio, y una época lluviosa estacional el resto del año (Bámaca 1999).

4.2.1.6. Descripción de la vegetación.

En el inventario forestal realizado en el año de 1999 se registró un total de 166 especies arbóreas, a partir de 10 cm de Dap (NPV 1999).

Aproximadamente un 89% del área posee una vegetación media con alturas mayores a los 15 m de altura total, además existe un 9% correspondiente a árboles que oscilan en alturas de 5 a 15 m. El resto del área esta ocupada por terrenos desprovistos de vegetación y áreas agrícolas y urbanas (NPV 1999).

De las especies (Dap \geq 10 cm) de mayor valor de importancia están representadas por: ramón oreja de mico (*Brosimum costaricanus*) (IVI: 15.16%), chicozapote (*Manilkara zapota*) (10.40%), zapotillo hoja fina (*Pouteria sp*) (7.20 %), silion (*Pouteria amygdalina*) (5.91%), canisté (*Pouteria campechiana*) (5.47%), manax (*Acalypha diversifolia*) (3.38%), malerio colorado (*Aspidosperma megalocarpun*) (3.04%) (NPV 1999).

Las especies maderables comerciales ocupan valores de importancia, en su orden, como sigue: caoba (*Swietenia macrophylla*) (IVI:1.67%), santa maría (*Challophyllum brasiliense*)(1.07%), manchiche (*Lonchocarpus castilloi*) (0.72%), canxan (*Terminalia amazonia*) (0.59%), cedro (*Cedrela odorata*) (0.26%).

En lo que respecta a la regeneración natural, se encontró un mínimo de 14.8 brinzales/ha y 0.4 latizales/ha de caoba; 2.1 brinzales/ha y 0.2 latizales/ha de cedro; y se estima un número de 568 brinzales/ha y 40 latizales/ha del grupo ACTCOM (Actualmente comerciales). El total de las especies se encuentran representadas por 14,903 brinzales/ha y 570 latizales/ha (NPV 1999).

4.2.1.7. Descripción de la fauna.

Morales (1998) estudió la fauna silvestre en la zona de Uaxactún determinando que es muy diversa y juega un papel muy importante para la comunidad, ya que es una fuente estable de proteína animal.

Entre las especies de fauna silvestre que se encuentran en Uaxactún están:

Cuadro 5. Especies de fauna silvestre que habitan en Uaxactún

Mamíferos	Aves
Cabrito (<i>Mazama americana</i>)	
Coche de monte (<i>Dicotyles tajacu</i>)	Cojolita (<i>Penelope purpurascens</i>)
Cotuja o cereque (<i>Dasyprocta punctata</i>)	Faisán (<i>Crax rubra</i>)
Danto (<i>Tapirus bardi</i>)	Loro (<i>Amazona sp.</i>)
Hueche o armadillo (<i>Dasybus novemcinctus</i>)	Pavo petenero (<i>Agriocharis ocellata</i>)
Jabalí (<i>Dicotyles pecari</i>)	Perica (<i>Aratinga sp.</i>)
Jaguar (<i>Panthera onca</i>)	Tucán (<i>Ramphastus sulfuratus</i>)
Mico León (<i>Potos flavus</i>)	
Mono Araña (<i>Ateles geoffroyi</i>)	Reptiles
Pizote (<i>Nasua narica</i>)	Barba Amarilla (<i>Bothrops asper</i>)
Puma (<i>Puma concolor</i>)	Cascabel (<i>Crotalus durissus</i>)
Tepezcuintle (<i>Agouti paca</i>)	Mano Piedra (<i>Atropoides nummifer</i>)
Tigrillo (<i>Leopardus wiedii</i>)	Mazacuata (<i>Boa constrictor</i>)
Venado (<i>Odocoileus virginianus</i>)	Zumbadora (<i>Drymarchon corais</i>)
Zaraguate (<i>Alouatta pigra</i>)	

Fuente: Plan de Manejo Integrado de la Unidad de Manejo Uaxactún. (1999)

4.2.1.8. Geología y suelos.

Según Simmons *et al* (1959) los suelos del área de estudio corresponden a la serie de suelos Uaxactún y Yaxhá, los cuales se caracterizan por ser poco profundos, bien drenados y aptos para el uso forestal. El área ocupa mayormente planicies externas sobre formaciones calizas. Los suelos de la serie Uaxactún, presentan serias limitaciones para la agricultura, debido a los efectos de plasticidad y compactación, acompañada de poca profundidad y alta pedregosidad.

4.2.2. Descripción general sobre el aprovechamiento forestal que se ejecutará en el AAA.

4.2.2.1. Areas de aprovechamiento.

El área de aprovechamiento será de 265 hectáreas de las cuales 256 ha. serán destinadas a aprovechamiento forestal maderable y 9 has. para protección debido a la presencia de montículos¹ (NPV 2001).

4.2.2.2. Censo comercial.

El censo comercial, consistió en la ubicación, reconocimiento, medición y señalización con plaqueta de cada árbol, utilizando el sistema de fajas de 100 m de ancho. Durante el censo se aplicaron criterios para definir árboles aprovechables, no aprovechables y semilleros.

Las especies Caoba y Cedro se censaron a partir de 20 cm de Dap con el objetivo de obtener información sobre la futura cosecha (abundancia y distribución) y definir la intensidad de corta de las mismas. Las variables registradas de los individuos menores al DMC (futura cosecha) fueron especie, Dap, coordenadas y observaciones (NPV 2001).

Las variables registradas para árboles mayores al DMC son: número de árbol, especie, Dap, altura comercial, condición, coordenadas (X, Y) y observaciones.

4.2.2.3. Resultados del censo comercial.

En el AAA se censaron 7 especies forestales, consideradas con actual valor económico en el mercado. El Diámetro Mínimo de Corta (DMC) censado para caoba y cedro es de 60 cm Dap y para las otras cinco, 50 cm. El siguiente cuadro presenta el DMC de las especies censadas y que se aprovecharon (NPV 2001).

¹ Estructuras arqueológicas cubierta de vegetación.

Cuadro 6. Diámetro mínimo de corta de las especies censadas que se aprovecharán.

No.	ESPECIE		DMC (cm)
	Nombre común	Nombre técnico	
1	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	60
2	Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	60
3	Manchiche	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	50
4	Santa maria	<i>Callophyllum brasiliense</i>	50

Fuente: Plan Operativo Anual, Unidad de Manejo Uaxactún. (2001)

4.2.2.4. Clasificación del volumen total comercial (m³) a cortar por especie.

En el cálculo de volumen comercial para todas las especies, se utilizó la fórmula de la FAO, dada por:

$$Vc = (0.0567 + (0.5074 * D^2)) * Hc$$

donde: Vc: Volumen comercial (m³)

D: Diámetro a la altura del pecho (1.30 m)

Hc: Altura comercial (m) (NPV 2001).

Para estimar el volumen en pies tablares, se utilizó la relación 185 pies tablares por metro cúbico, resultado obtenido en el estudio de aserrío de madera de la Unidad de Manejo Río Chanchich (NPV 2001).

En el Cuadro 7 se muestra el volumen, número de árboles y volumen a cortar por especie a aprovechar (NPV 2001).

Cuadro 7. Clasificación del volumen total, número de árboles y área basal aprovechar por especie.

ESPECIE	No. De	Volumen	Pies
	Árboles	Total	Tablares
Caoba	90	250.26	46,297
Cedro	10	32.60	6,031
Manchiche	43	69.97	12,944
Santa maría	16	27.36	5,062
TOTAL	159	380.19	70,334

Fuente: Plan Operativo Anual, Unidad de Manejo Uaxactún, Flores, Petén.

4.2.2.5. Árboles, área basal y volumen comercial a aprovechar y reservar por especie.

En el Cuadro 8 se presenta un resumen del número de árboles, área basal a extraer y dejar en el área de aprovechamiento, la variable volumen únicamente se incluye para árboles aprovechables.

Los árboles de amapola, hormigo y jobillo, por haber sido censadas se incluyen el mismo cuadro pero no se aprovecharon debido a la baja abundancia que se registró de ellas (NPV 2001).

Cuadro 8. Número de árboles, área basal y volumen a extraer, reservar y de futura cosecha por especie.

No	ESPECIE	FUNCION											TOTAL	
		RESERVAR								Extraer				
		Semillero		Reserva		Remanencia		Futura cosecha						
		No	AB (m ²)	No	AB (m ²)	No	AB (m ²)	No	AB (m ²)	No	AB	Vol (m ³)	No	AB (m ²)
1	Caoba	21	8.90	50	20.66	49	31.39	205	29.55	90	47.02	250.26	415	137.52
2	Cedro	1	0.29	4	1.86	4	2.60	27	3.98	10	5.33	32.60	46	14.07
3	Manchiche	4	0.86	34	9.34	4	1.10			43	12.11	69.97	85	23.42
4	Santa maría	2	0.54	6	1.52	1	0.30			16	4.19	27.36	25	6.55
5	Amapola			2	1.15								2	1.15
6	Hormigo	1	0.28	1	0.26								2	0.54
7	Jobillo			1	0.21								1	0.21
Total general		29	10.87	98	35.00	58	35.39	232	33.53	159	68.66	380.19	576	183.46

Fuente: Plan Operativo Anual, Unidad de Manejo Uaxactún, Flores, Petén.(2001)

4.2.2.6. Sistema de Aprovechamiento.

En el plan general de manejo se propone aplicar el Sistema Policíclico para el manejo del recurso maderable del bosque, aplicando técnicas de aprovechamiento de bajo impacto (NPV 2001).

5. METODOLOGÍA.

5.1. Estimación de biomasa aérea.

Para estimar la biomasa aérea total del bosque con manejo sostenible se procedió de la manera siguiente:

5.1.1. Revisión de datos del censo comercial y parcelas de muestreo del inventario forestal.

Se revisaron los datos del censo comercial y parcelas de muestreo del inventario forestal, con el propósito de utilizarlos en el cálculo de la biomasa aérea total.

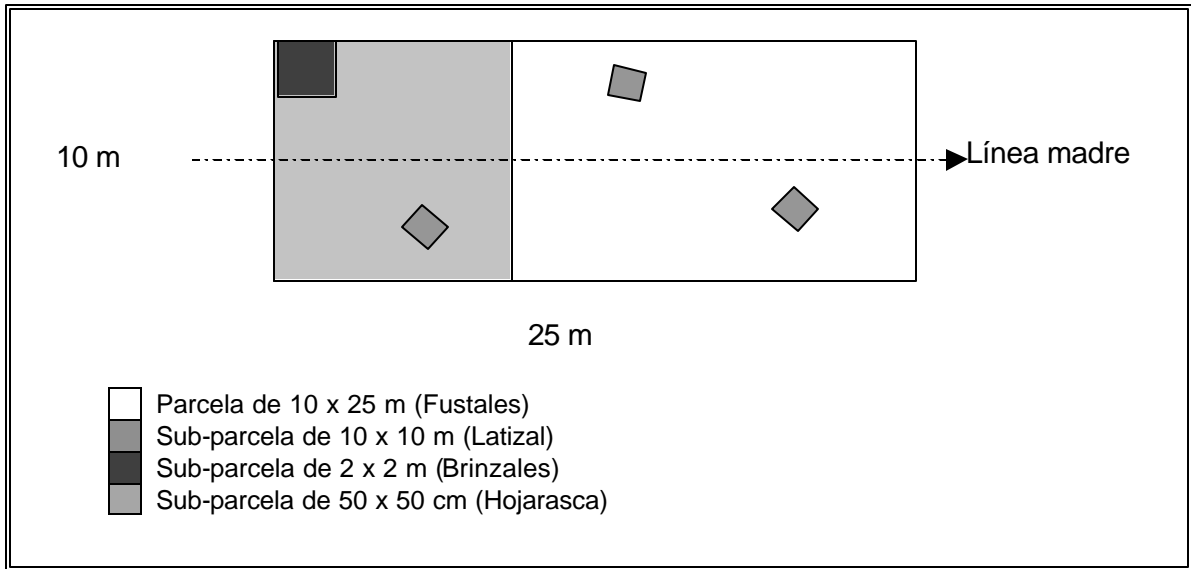
5.1.2. Levantamiento de parcelas de medición.

Con el propósito de complementar la información del censo comercial (ya que en éste no se registran los brinzales y latizales) se levantaron parcelas de medición. La ubicación de las parcelas fué al azar, y se levantaron un total de 15 parcelas, es decir, se muestreó en un área de 3,750 m².

5.1.2.1. Tipo y tamaño de las parcelas.

Las parcelas establecidas fueron rectangulares con una dimensión de 250 m² (10 x 25 m), luego tomando como punto de partida la esquina superior izquierda se establecieron las sub-parcelas de 100 m² (10 x 10 m) y por último una sub-parcela de 2 x 2 m (Fig. 2).

Figura 2. Distribución, tamaño y tipo de parcela y sub-parcelas.



5.1.2.2. Variables registradas en las parcelas.

En cada parcela de 250 m² (10 x 25 m) se midieron los individuos ≥ 10 cm Dap (fustales). De todos los individuos se registró el Dap, altura comercial y la altura total.

En las sub-parcelas de 100 m² (10 x 10 m) se midieron los individuos de 1.5 cm. a 9.9 cm Dap (latizales), habiéndoseles registrado el Dap y la altura total (Figura 10A).

Por último, en las sub-parcelas de 2 x 2 m (4 m²) se midió la altura de todos los individuos de 0.30 m - < 1.5 m de altura denominados (brinzales) (Figura 11A).

5.1.3. Construcción de ecuaciones alométricas para cálculo de biomasa.

5.1.3.1. Fuentes a medir.

Se tomaron cuatro categorías de vegetación siendo éstos: Fustales (≥ 10 cm Dap), Latizales (de 1.5 a 9.9 cm Dap), Brinzales (de 0.30 m - < 1.5 m de altura) y hojarasca. De todas las sub-parcelas se seleccionaran tres individuos al azar por categoría de vegetación, los cuales se sometieron al siguiente proceso:

5.1.3.2. Registro de datos.

Se escogieron por categoría de vegetación: 44 brinzales (tres por parcela) a los que se les registró la altura total; 90 latizales (seis por parcela) y 51 fustales de 17 especies (Cuadro 9) a los que se les registró altura total y altura comercial con el propósito de correlacionarlos con la biomasa de cada uno de las categorías (Cuadro 22A).

5.1.3.3. Especies muestreadas en el estudio.

Se muestreó un total de 51 individuos de 17 especies: Guaya, Yaxnic, Ramón Oreja de Mico, Chicozapote, Zapotillo Hoja Fina, Pimienta, Jobo, Sacuché, Cedrillo, Ramón Colorado, Canisté, Malerio Colorado, Caoba, Manchiche, Santa María, Cedro y Chacaj, las cuales representan el 60% del área basal total y el 70% del volumen total. (Cuadro 9 Y 10).

Las 17 especies muestreadas en el presente estudio, representan más del 50% del índice de valor de importancia de todas las especies del estrato "A" (Cuadro 9)

Cuadro 9. Area Basal, Volumen e Índice de valor de importancia de las especies muestreadas.

Especies		Area basal		Volumen		Índice de valor de importancia
Nombre común	Nombre científico	m ² ha ⁻¹	%	m ³ ha ⁻¹	%	%
Caniste	<i>Pouteria campechiana</i>	0.57	2.97	0.515	2.07	5.47
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	0.38	1.98	0.901	3.62	1.67
Cedrillo	<i>Guarea tonduzii</i>	0.25	1.3	0.115	0.46	0.001
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	0.07	0.36	0.206	0.83	0.56
Chacaj	<i>Bursera simaruba</i>	0.03	0.16	0.548	2.2	1.87
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>	2.28	11.88	4.9	19.69	10.4
Guaya	<i>Talisia olivaeformis</i>	0.16	0.83	0.427	1.72	0.94
Jobo	<i>Spondias mombim</i>	0.38	1.98	0.981	3.94	2.54
Malerio Colorado	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	0.68	3.54	1.082	4.35	3.04
Manchiche	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.18	0.94	0.479	1.93	0.72

...continuación Cuadro 9.

Especies		Area basal		Volumen		Índice de valor de importancia
Nombre común	Nombre científico	m ² ha ⁻¹	%	m ³ ha ⁻¹	%	%
Pimienta	<i>Pimenta dioica</i>	0.52	2.71	0.27	1.09	2.1
Ramon Oreja de Mico	<i>Brosimum alicastrum</i>	3.07	15.99	4.92	19.77	15.2
Ramon Colorado	<i>Trophis racemosa</i>	0.07	0.36	0.004	0.02	0.12
Sacuche	<i>Rehdera penninervia</i>	0.35	1.82	0.606	2.44	1.08
Santa María.	<i>Callophyllum brasiliense</i>	0.1	0.52	0.233	0.94	1.07
Yaxnik	<i>Vitex gaumeri</i>	0.32	1.67	0.099	0.4	2.89
Zapotillo	<i>Pouteria reticulata</i>	2.14	11.15	1.187	4.77	7.2
Subtotal		11.55	60	17.47	70	57
Otras especies		7.6	40	7.407	30	43
Total		19.2		24.88		100

Cuadro 10. Individuos seleccionados arriba de 10 cm de Dap. por clase diamétrica.

No.	ESPECIES		Total general
	Nombre común	Nombre científico	
1	Canisté	<i>Pouteria campechiana</i>	2
2	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	10
3	Cedrillo	<i>Guarea tonduzii</i>	4
4	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	6
5	Chacaj	<i>Bursera simaruba</i>	1
6	Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>	1
7	Guaya	<i>Talisia olivaeformis</i>	1
8	Jobo	<i>Spondias mombim</i>	1
9	Malerio Colorado	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	1
10	Manchiche	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	7
11	Pimienta	<i>Pimenta dioica</i>	2
12	Ramon Oreja de Mico	<i>Brosimum alicastrum</i>	2
13	Ramon Colorado.	<i>Trophis racemosa</i>	3
14	Sacuche	<i>Rehdera penninervia</i>	1
15	Santa María	<i>Callophyllum brasiliense</i>	4
16	Yaxnic	<i>Vitex gaumeri</i>	1
17	Zapotillo	<i>Pouteria reticulata</i>	4
		Total	51

Solíz (1998), evaluó 12 especies (un individuo por especie) de un total de 77 especies arbóreas en Lomerío, Bolivia, las cuales representan el 81% del volumen promedio por hectárea para el total de las 77 especies.

Segura (1999) muestreó un total de 23 árboles (3 individuos de la especie *Carapa guianensis*, 3 de *Inga cruscans*, 2 de *Laetia procera*, 3 de *Micropholis crotonoides*, 1 de *Minquartia guianensis*, 4 de *Pentaclethra macroloba*, 1 de *Stryphnodendron microstachyum*, 3 de *Tapirira guianensis* y 3 de *Vochysia ferruginea*) para medir biomasa en fincas privadas en Costa Rica. Estas especies representan más del 50% del área basal total.

5.1.3.4. Biomasa por categoría de vegetación.

Cada individuo seleccionado fue dividido en componentes, es decir, en hojas, ramas grandes, ramas pequeñas, tocón y fuste. (Cuadro 11)

Cuadro 11. Componentes por categoría.

Categoría	Componente				
	Hojas	Rama grande ²	Rama Pequeña ³	Tocón	Fuste
Fustales		X	X	X	X
Latizales		X	X		X
Brinzales	X		X		X

Los brinzales y latizales fueron pesados en su totalidad y se extrajo una muestra a la cual se le registraron dos pesos: antes del horno y otro después de haberlo secado al horno a 60° C por 72 horas (Figura 12A).

Las muestras recolectadas fueron, embolsadas y debidamente etiquetadas indicando la parcela, el número de la parcela de donde se extrajo la muestra, la categoría de vegetación (brinzal, latizal, fustal) y el componente (hoja, rama grande, rama pequeña, fuste) muestreado (Cuadro 23A).

² En el caso de los fustales, las ramas grandes serán aquellas que se pueden aprovechar.

³ En el caso de los fustales, las ramas pequeñas serán aquellas que no se aprovechan

En el caso de los fustales se pesó toda la rama pequeña y se extrajo una muestra para medir el peso húmedo y seco de la misma.

El tocón, fuste y rama grande fue cubicada y se extrajo una muestra de cada componente para determinar la Gravedad Específica (GE). En total se obtuvieron 54 muestras, siguiendo el procedimiento que a continuación se describe:

1. Se mantuvieron las muestras de tres a cuatro días en un horno a $101\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta obtener el peso seco constante.
2. Luego se sellaron las muestras con parafina industrial y se obtuvo el peso de esta con parafina (en gramos) (Figura 13A)
3. Con los dos pesos anteriores se calculó el peso de la parafina (en gramos).
4. Este peso de la parafina se convirtió a volumen (cm^3), dividiéndolo entre la densidad básica de ésta (0.90 g cm^{-3}).
5. Luego se obtuvo el peso del sistema sin muestra, el cual estaba compuesto por una balanza ($\pm 0.01\text{ g}$), un recipiente con 3 litros de agua destilada y una prensa para la muestra sumergida (Figura 13A).
6. Se colocó la muestra sobre la prensa y se sumergió en el agua destilada (ésta no tocó las paredes del recipiente), luego se obtuvo el peso del sistema con muestra (en gramos).
7. Con la diferencia de los pesos anteriores se calculó el peso del agua desplazada (en gramos).
8. El peso anterior se convirtió a volumen de agua desplazada (cm^3) dividiéndolo entre la gravedad específica del agua (1 g cm^{-3}).
9. Se calculó el volumen real de la muestra (cm^3) restándole al volumen obtenido anteriormente el volumen de la parafina.
10. Por último se calculó la gravedad específica con la siguiente fórmula:

$$GE = PSH / VM_{SP}$$

[1]

donde GE: gravedad específica

PSH: Peso seco al horno

VM_{SP} : Volumen de la muestra sin parafina.

Se hizo una comparación de medias utilizando el método de diferencias entre medias (muestras pequeñas), en donde se compararon los promedios entre especies y componentes para determinar el grado de desigualdad entre éstas.

La medición de biomasa directa (corta y peso) se realizó fuera o dentro de la parcela de muestreo principalmente en la vegetación que se elimina para la apertura de wines. Los criterios para seleccionar un individuo para la medición directa fueron:

- El árbol a ser pesado, debe encontrarse en buen estado fitosanitario.
- Las copas de los árboles no deben estar entrelazadas.
- Los árboles descopados no serán considerados en la muestra.

En el caso de la hojarasca, dentro de la parcela grande (250 m²) se tomaron muestras de tres marcos de 50 x 50 cm. lanzados al azar, luego se depositó todo el material dentro de una bolsa grande, se mezcló y se peso todo el material. Del material homogenizado se extrajo una muestra (Figura 14A).

A) Biomasa de Brinzales y Latizales: La biomasa se determinó por componente (hojas, ramas, fustes) de éstos se obtuvo de la forma siguiente:

- Primero se determinó el porcentaje de materia seca a través de la fórmula siguiente:

$$MS\% = (Phm/Psm) \times 100 \quad [2]$$

Donde: MS%: Materia seca en porcentaje

Phm: Peso húmedo de la muestra

Psm: Peso seco de la muestra.

- Luego se calculó la biomasa por componente con la ecuación siguiente:

$$B = (Pt \times MS\%) / 100 \quad [3]$$

Donde: B: Biomasa

Pt: Peso total

MS%: Materia seca en porcentaje.

La biomasa total del individuo, por categoría, se obtuvo sumando la biomasa de cada componente.

B) Biomasa de Fustales: La biomasa de los fustales se determinó por componente (tocón, rama grande, rama pequeña y fuste) de la manera siguiente:

- En el caso de la rama pequeña se determinó el porcentaje de materia seca (Ec. 2) y luego se obtuvo la biomasa de la rama pequeña (Ec. 3).
- En el caso de las ramas grandes y fuste se cubicaron con la fórmula de Smallian (Ec. 4) y luego se obtuvo la biomasa (Ec. 5).

$$V = (d_1^2 + d_2^2) \div (. \div 4) \times L \quad [4]$$

Donde: V: Volumen (m³)

d²₁: diámetro del extremo grueso de la troza

d²₂: diámetro del extremo delgado de la troza

L: Longitud de la troza (m)

$$B= V \times GE \quad [5]$$

Donde: B: Biomasa

V: Volumen

GE: Gravedad específica.

- En el caso del tocón, el volumen de éste se determinó con la fórmula de la Neiloide Truncada (Ec. 6) y luego se calculó la biomasa (Ec. 5).

$$V= (h/4) \times (Ab+^3.A^2bxAu + ^3.A^2bxAb + Au) \quad [6]$$

Donde: V: Volumen del tocón

h: altura (m)

Ab: Area basal parte inferior del tocón

Au: Área basal parte superior del tocón.

- C) Biomasa de la hojarasca: Para determinar la biomasa de la hojarasca se calculó, primero, el porcentaje de materia seca (Ec. 2) y luego se obtuvo la biomasa (Ec. 3).

5.2. Factor de expansión de biomasa.

El factor de expansión de biomasa es la relación que existe entre la biomasa del fuste respecto a la biomasa total. Para calcularlo se utilizó la siguiente ecuación:

$$FEB=BT/BF \quad [7]$$

Donde: FEB: Factor de expansión de biomasa

BT: Biomasa total

BF: Biomasa del fuste

5.2.1.1. Análisis de regresión y elección de modelo para estimación de biomasa.

Una vez que se obtuvo la biomasa por categoría de vegetación, se realizó un análisis de regresión para determinar que variables tenían mayor correlación;

se probaron con los modelos lineales, logarítmicos, cuadráticos, potenciales, exponenciales así como las transformaciones a través del programa Jump 3.1. Se probaron ecuaciones de mejor ajuste con y sin transformaciones. En la selección de los modelos se empleó los siguientes criterios: lógica biológica del modelo, cuadrado medio del error (CME), índice de Furnival (Furnival 1961), Coeficiente de determinación (R^2) y Coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajust). (Cuadro 20A).

5.3. Cálculo de carbono almacenado.

El cálculo de carbono almacenado por individuo se hizo de la siguiente manera:

- Se seleccionaron 22 muestras (entre ramas grandes, ramas pequeñas, tocón) y se les determinó el poder calórico en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias de la Universidad de San Carlos de Guatemala; y con este análisis se determinó la fracción de carbono a través del siguiente procedimiento (Segura 1999):
 - Las calorías producidas se pasaron a Julios por gramo multiplicando por 4,1868 J.
 - Los Julios por gramo se transformaron a moles de carbono dividiendo por la cantidad de energía requerida por una planta de $4,8 \times 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ para fijar en moléculas orgánicas un mol de carbono.
 - Estos moles de carbono se transformaron a gramos de carbono multiplicando por el peso molecular del carbono (12 g).
 - Por último se calculó la fracción de carbono con la siguiente fórmula:

$$FC = (GC/PM)/MS(\%) \quad [8]$$

Donde: FC: Fracción de carbono

GC: gramos de carbono (g)

PM: Peso de la muestra (g)

MS(%): Porcentaje de materia seca.

- Con la fracción de carbono y la biomasa por individuo se procedió a calcular el Carbono Almacenado con la siguiente ecuación:

$$CA= BT \times FC \quad [9]$$

Donde: CA: Carbono almacenado total (t) o por ha (tC ha/año)

BT: Biomasa total (t) o por ha.(t ha/año)

FC: Fracción de carbono promedio.

5.4. Estimación de la biomasa y carbono almacenado para el área de corta anual.

Los datos que sirvieron de base para el cálculo de biomasa y carbono almacenado para el área de corta anual del 2001 fueron:

Los datos de dos parcelas de muestreo (las No. 25 y 43) del inventario forestal integrado, las cuales están dentro del área de corta anual del 2001. El área de estas parcelas es de 1 ha cada una.

Los datos del censo comercial que sirvió de base para realizar el plan operativo anual 2001.

Primero se hizo el cálculo de la biomasa en individuos por categoría de vegetación (Ec. 12, 13 y 14) y el cálculo del carbono almacenado en individuos por categoría de vegetación (Ec. 7). La suma de la biomasa y carbono almacenado en individuos por categoría de vegetación fue la cantidad total para el área de corta anual del 2001.

En segundo lugar, se procedió al cálculo del promedio biomasa y carbono almacenado por hectárea y para ello se empleó el promedio de las áreas efectivas. El área efectiva de los fustales fue el promedio de las áreas efectivas de los árboles aprovechados, árboles no aprovechados o árboles remanentes, futura cosecha, semilleros (Censo comercial) y el área efectiva de las parcelas de muestreo para el inventario forestal.

6. RESULTADOS.

6.1. Medición directa de biomasa.

6.1.1. Datos previos para la determinación de biomasa y carbono.

6.1.1.1. Gravedad específica.

El proceso para determinar la gravedad específica se hizo en 53 muestras (Cuadro 19A) y el promedio de la madera de cuatro especies provenientes del bosque bajo estudio osciló entre 0.50 y 0.86. La especie que presentó mayor gravedad específica fue el Manchiche, siguiéndole el Santa María, Caoba y Cedro (Cuadro 12).

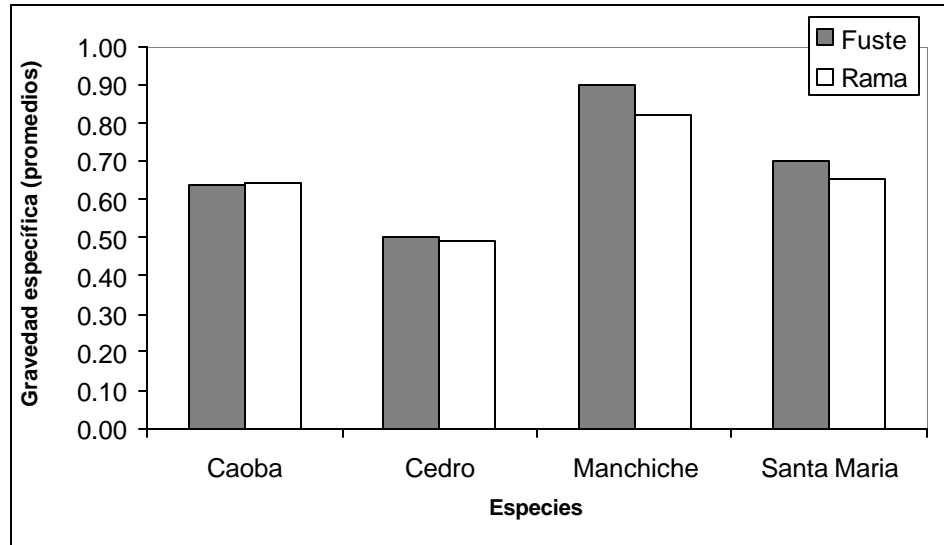
Cuadro 12. Gravedad específica promedio para fuste y ramas de cuatro especies forestales de bosque natural.

Especie	Parte	Número de muestras	Gravedad Específica		
			Promedio	Desviación estandar	Coefficiente de variación (%)
Caoba	Fuste	10	0.64	0.06	9.47
	Rama	10	0.65	0.08	11.75
Cedro	Fuste	6	0.50	0.11	21.65
	Rama	5	0.49	0.04	8.97
Manchiche	Fuste	7	0.90	0.05	5.48
	Rama	7	0.82	0.06	6.89
Santa Maria	Fuste	4	0.70	0.03	4.56
	Rama	4	0.66	0.04	5.79
Total general		53	0.68	0.14	21.27

El valor más alto de gravedad específica por componentes del árbol se encontró en el fuste de Manchiche, seguido por Santa María, Caoba y Cedro (Cuadro 12).

En el caso del Caoba, el promedio de gravedad específica de las ramas superó al del fuste (Figura 3).

Figura 3. Gravedad específica por componentes.



Utilizando la comparación de medias, se pudo verificar que no existen diferencias entre promedios de gravedad específica en especies y componentes del árbol ($P > 0.05$).

6.1.1.2. Fracción de carbono.

La fracción de carbono presente en la biomasa para las especies osciló entre 0.42 y 0.57. El promedio general de fracción de carbono fue de 0.48 incluyendo el fuste y las ramas (Cuadro 13).

Ciesla citado por Segura (1996) indica que la relación de que la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1 (50%) lo cual se cumple en el presente estudio. Como se puede observar para el total de los árboles el porcentaje en la biomasa total es de aproximadamente 48%.

Cuadro 13. Porcentaje de carbono.

Especie/Categoría de vegetación	Parte	Fracción carbono	Carbono (%)
Caoba	Tocón	0.42	42.44
Caoba	Rama	0.42	41.88
Cedrillo	Fuste	0.45	45.00
Cedro	Rama	0.45	45.09
Jobo	Fuste	0.48	47.70
Manchiche	Tocón	0.50	49.86
Pimienta	Rama	0.55	55.29
Pimienta	Fuste	0.47	47.43
Santa María	Tocón	0.48	47.88
Latizal	Fuste	0.57	57.09
Latizal	Fuste	0.50	50.02
		0.48	48.15

6.1.1.3. Determinación de pesos (total, muestra húmeda y seca), porcentaje de materia seca, volumen.

El peso total de todos los componentes (hojas, ramas, fustes) fue de 54,076.55 kg y de las 544 muestras extraídas se obtuvo un peso húmedo total de 46,147.86 gramos, haciendo un porcentaje de materia seca de 48.43%. De las 53 muestras escogidas para gravedad específica, se determinó un promedio de 0.68 tm^{-3} . (Cuadro 14).

El volumen de 142.71 m^3 que se presenta en el Cuadro se refiere al volumen obtenido de las ramas aprovechables, fustes y tocón.

Cuadro 14. Resumen general de los resultados obtenidos de las mediciones a muestras seleccionadas

Peso total en Kg.	Muestra Húmeda (gr)	Número de muestras	Muestra Seca (gr)	Materia Seca (%)	Volumen (m^3)	Gravedad específica (t m^{-3})	Número de muestras	
54,076.55	46,147.86	544	26,967.67		142.71		54	Total
2,140.02	1,266.91		700.83	48.43	24.45	0.68		Prom.
							598	Total

6.1.2. Resultados de Biomasa medidos directamente.

Se determinó una biomasa total de 118,047.70 kg, lo cual equivale a 56,662.89 kg. (56.66 ton) de carbono almacenado.

6.1.2.1. Relación de la biomasa del fuste respecto a la de las ramas.

Para conocer la relación de biomasa del fuste con las ramas, se utiliza el factor de expansión de biomasa (FEB), el cual, es la relación de biomasa de fuste con la biomasa total.

En términos generales se determinó un promedio de factor de expansión de biomasa para fustales de 1.73, para latizales de 1.51 y de brinzales de 2.15; el promedio general encontrado en las muestras fue de 1.80 (Cuadro 15).

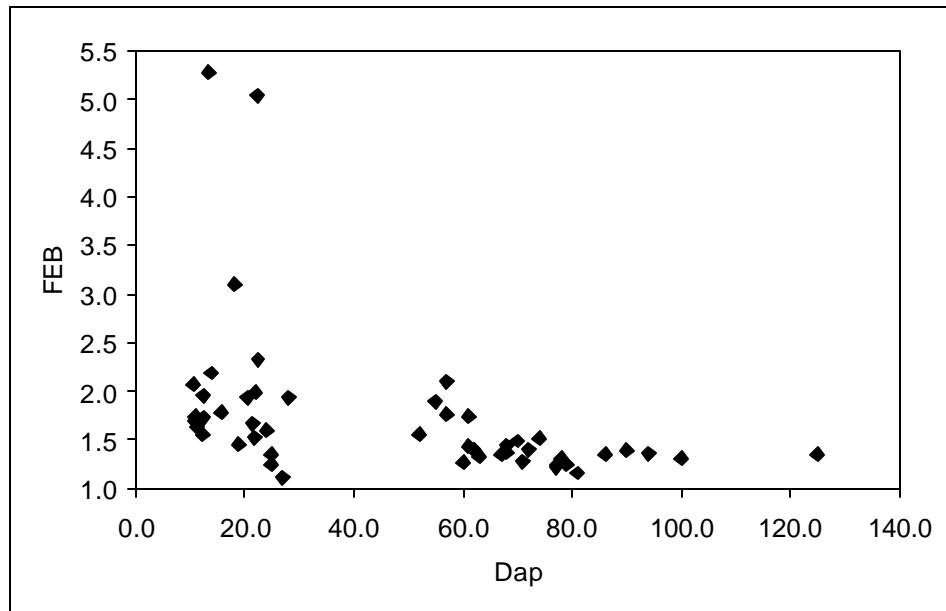
Cuadro 15. Promedios de FEB por categoría de vegetación.

Categoría de vegetación	Promedio
Fustales	1.73
Latizales	1.51
Brinzales	2.15
Promedio general	1.80

Los brinzales tienen el mayor FEB y esto se debe a que el tallo es superado, en biomasa, por las ramificaciones del brinzal; lo mismo se pudo observar en los individuos que conforman cada categoría al comparar el diámetro (en el caso de latizales y brinzales) y la altura (en el caso de los brinzales) con el Factor de expansión de biomasa.

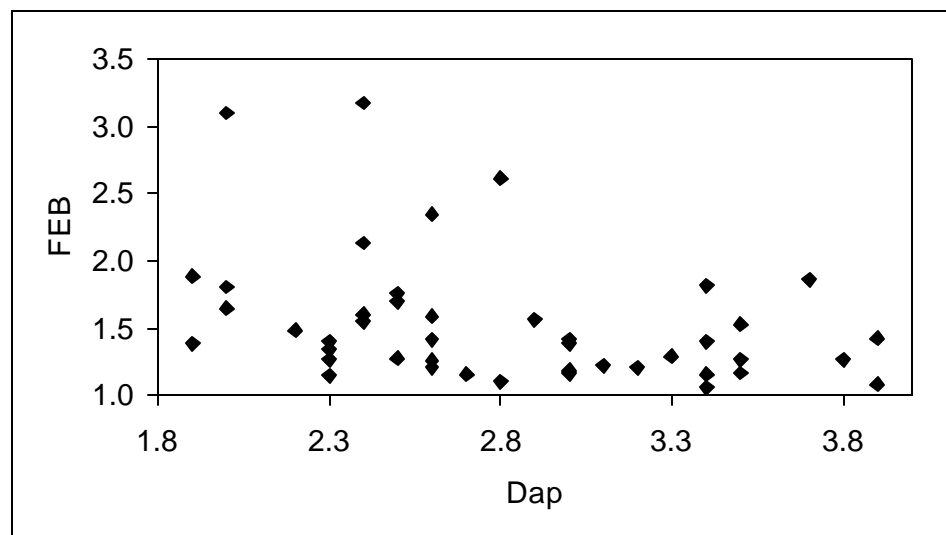
En los fustales, los individuos con mayor factor de expansión de biomasa se concentraron entre 10 cms. y 60 cms. de diámetro (Figura 4).

Figura 4. Relación del diámetro con el FEB en fustales.



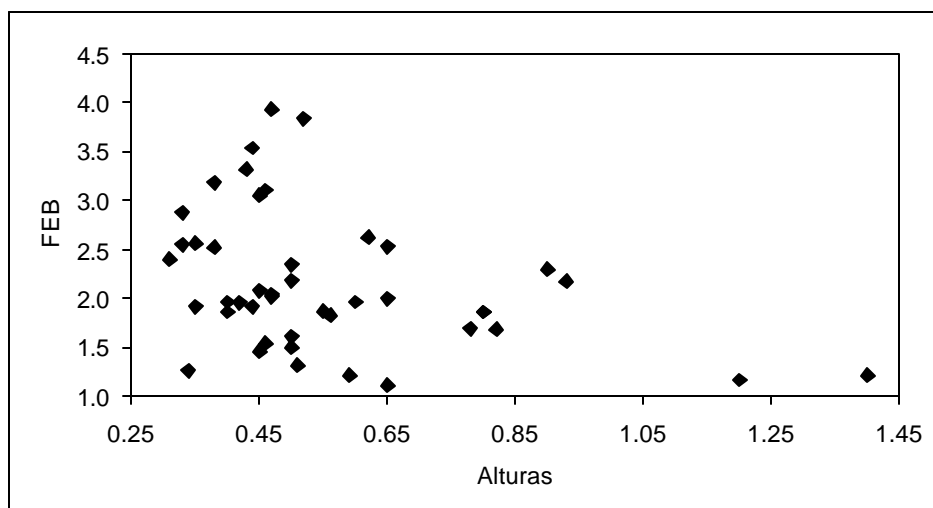
En el caso de los latizales, los individuos con mayor factor de expansión de biomasa se concentran a partir de 2.8 cms de Dap hacia 1.8 cms; es decir, la tendencia es a concentrarse en diámetros pequeños (Figura 5)

Figura 5. Relación del diámetro con el FEB en Latizales.



En el caso de los brinzales, la concentración de individuos con mayores factores de expansión de biomasa se da en las alturas de 65 cms para abajo, a partir de esta altura (de 65 cms a 145 cms) empieza de decrecer el FEB (Figura 6).

Figura 6. Relación de la altura con el FEB en brinzales.



En resumen, se puede observar que en los diámetros y/o alturas menores se concentran los mayores factores de expansión de biomasa, lo que significa que las ramas, superan en contenido de biomasa a los fustes.

6.2. Estimación de biomasa y carbono almacenado para el área de corta 2001.

6.2.1. Modelos para estimar la biomasa total.

6.2.1.1. Grado de correlación entre variables.

La variable del Diámetro a la altura del pecho (Dap), fue la que mayor correlación tuvo con la biomasa total. En el caso de los Fustales el Dap tuvo mayor correlación que la altura comercial y total, pero en los latizales, la altura total y el Dap tuvieron un coeficiente de correlación alto (Cuadro 16).

Cuadro 16. Grado de correlación de la variable por categoría con la biomasa total.

Categorías de vegetación	VARIABLES	Coeficientes de correlación de Pearson	Grado de correlación
Fustales	Dap	0.94	Alto*
	ht	0.54	Medio♦
	hc	0.35	Bajo^
Latizales	Dap	0.94	Alto
	ht	0.87	Alto
Brinzales	ht	0.80	Alto

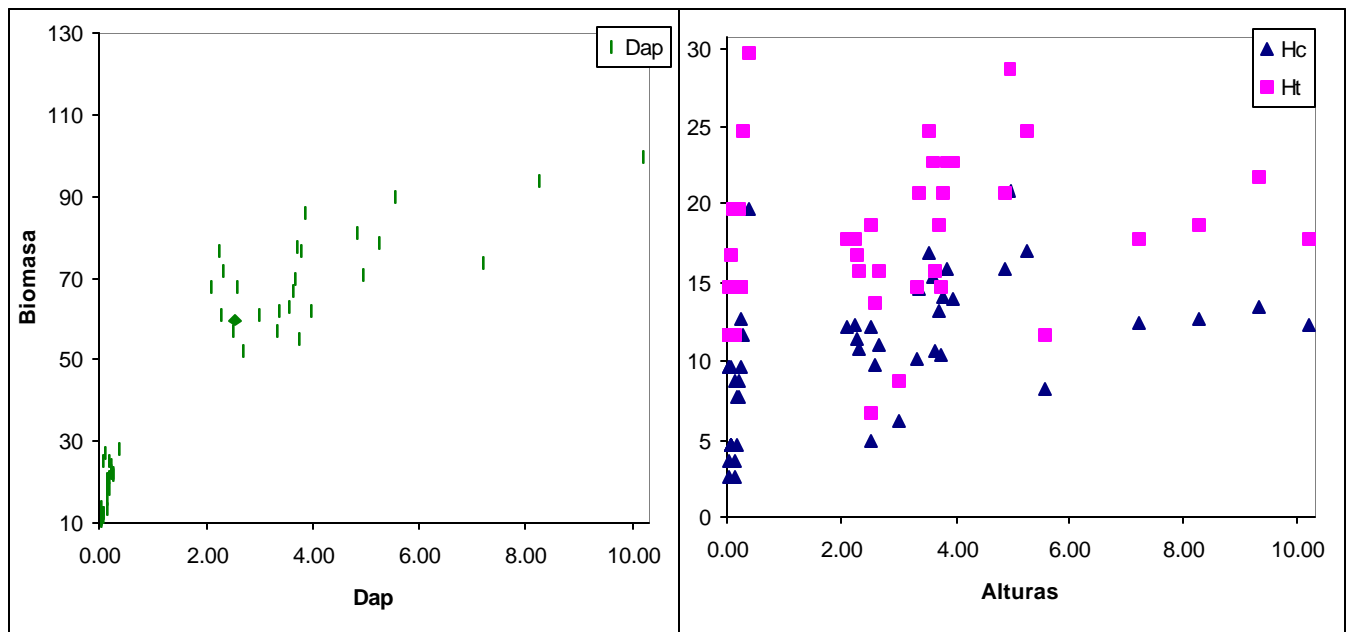
En donde Dap: Diámetro a la altura del pecho

ht: Altura total.

hc: Altura comercial.

En el caso de los fustales, los puntos de la altura comercial y altura total están dispersos, en cambio, los puntos del Dap demostraron una tendencia clara por lo tanto, existe una alta correlación entre el Dap y la biomasa (Figura 7).

Figura 7. Relación biomasa vs. altura comercial y total en fustales.



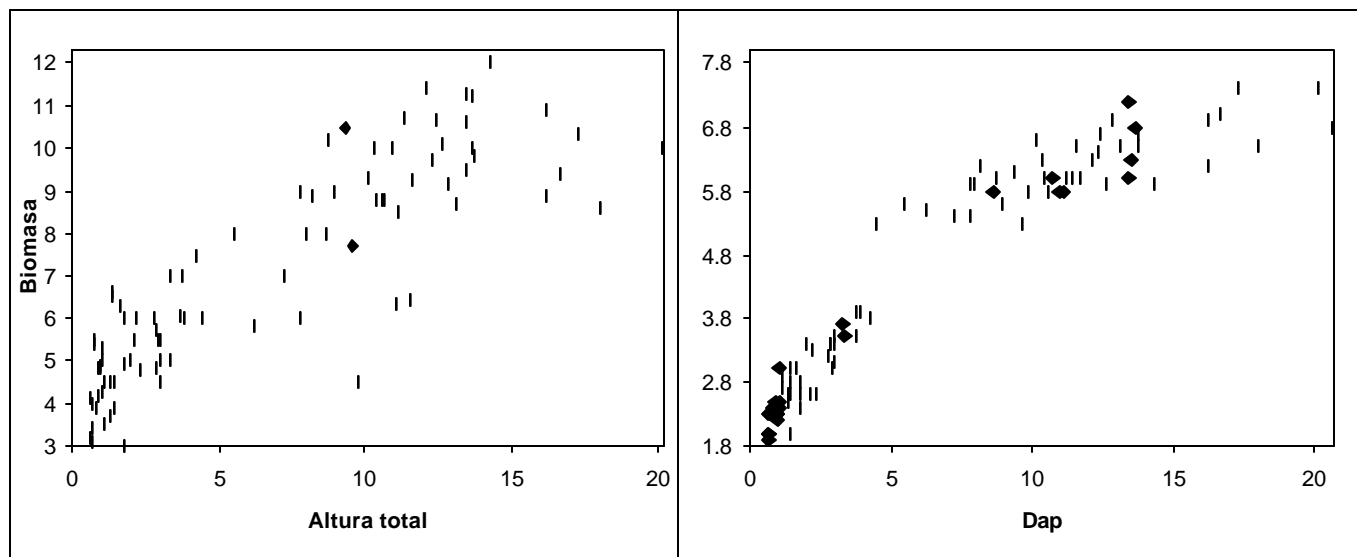
* Es alta cuando el grado de correlación es mayor a 0.80.

♦ Es media cuando es menor a 0.80 y mayor a 0.40.

^ Es baja cuando la grado de correlación es menor a 0.40

En el caso de los latizales, los puntos de la altura total y el Dap presentan una tendencia clara y un bajo nivel de dispersión, por lo tanto, ambas variables (altura total y Dap) tienen correlación con la biomasa (Figura 8).

Figura 8. Relación de biomasa vs. altura total y dap en latizales.



En resumen, se optó por utilizar el Diámetro a la altura del pecho, Dap, para estimar biomasa total porque existe una alta correlación con ésta y aunque en los latizales hay una correlación alta entre la altura total y Dap, es mejor emplear el Dap ya que es una medición directa y no una estimación.

6.2.1.2. Elaboración de modelos para estimar biomasa total.

Para el caso de los fustales, se generaron 18 modelos los cuales van desde un R^2 y R^2 ajustados de 0.70 a 0.95 (Cuadro 20A)

Para los latizales, se generaron 24 modelos con R^2 y R^2 ajustado desde 0.64 a 0.95. El caso de los brinzales, se generaron 27 modelos con R^2 desde 0.70 hasta 0.80 y R^2 ajustado desde 0.69 a 0.80 (Cuadros 21A y 22A).

También se generaron 2 modelos de regresión múltiple para latizales, los cuales tienen R^2 entre 0.90 y 0.92 y R^2 ajustados entre 0.89 a 0.92.

Aunque los modelos de regresión múltiple tienen grados de correlación altos, no se tomaron en cuenta ya que al tener como variable independiente las alturas (comercial y total) no son recomendables en general ya que estas mediciones están sujetas a un alto error debido a que son estimaciones y no mediciones directas.

6.2.1.3. Selección del modelo para calcular la biomasa por categoría de vegetación.

Los modelos que mejor estima la biomasa total por categoría de vegetación, son aquellos logarítmicos a partir Dap (en el caso de fustales y latizales, con un R^2 y R^2 ajustado muy altos. Estos modelos explican más del 95% de la variabilidad de los datos (Cuadro 17).

El modelo que mejor estima la biomasa total en los brinzales es un modelo lineal a partir de la altura total con un R^2 y R^2 ajustado de 0.80 (Cuadro 17).

Cuadro 17. Modelos seleccionados para estimar biomasa por categoría de vegetación.

Categoría de Vegetación.	No.	Modelo	R^2	R^2 ajustado	Cuadrado medio del error	Índice de Furnival
Fustales	[12]	$\text{LogBt} = -3.89391 + 2.40215 * \text{LogDap}$	0.96	0.96	0.03	0.021
Latizales	[13]	$\text{LogBt} = -1.58763 + 1.06235 * \sqrt{\text{Dap}}$	0.95	0.95	0.012	0.023
Brinzales	[14]	$\text{Bt} = -0.00905 + 0.03005 * \text{Ht}$	0.80	0.79	$1.2 * 10^{-5}$	$1.2 * 10^{-5}$

R^2 : Coeficiente de determinación; R^2 ajustado: Coeficiente de determinación ajustado; Bt: Biomasa total; Dap; Diámetro a la altura del pecho; ht: Altura total.

6.2.2. Estimación de biomasa y carbono almacenado en el área de corta anual de Uaxactún.

La cantidad de biomasa total estimada para el área de corta anual 2001, es de 1,8123.49 toneladas, lo cual equivale a 877.76 toneladas de carbono almacenado. El promedio por hectárea de biomasa y carbono almacenado para el área en estudio fue de 78.39 t ha^{-1} y 37.96 tC ha^{-1} (Cuadro 18).

Cuadro 18. Biomasa y carbono almacenado en el área de corta anual 2001 en Uaxactún, Flores, Petén.

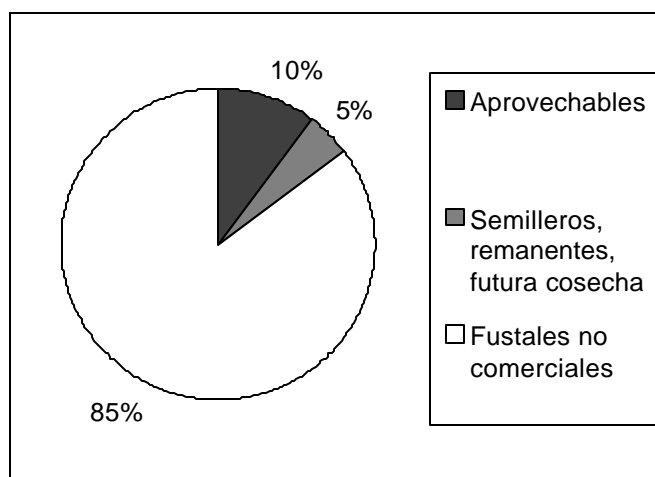
Categoría de vegetación	Bt	CA	Área efectiva (ha)	Bt	CA
	(t)	(t)		(t ha ⁻¹)	(tC ha ⁻¹)
Fustales	1,809.76	876.45	92.33*	82.94	43.70
Latizales	2.73	1.31	0.15	18.20	8.73
Brinzales	0.00178	0.00086	0.006	0.30	0.14
Hojarasca	0.005265	0.0025	0.001125	4.68	2.34
	1812.49	877.76	23.12 [♦]	78.39	37.96

Bt: Biomasa total; (t): total; (t ha⁻¹): total de biomasa por ha.; (tC): total de carbono almacenado; (tC ha⁻¹): total de carbono por ha; CA: Carbono almacenado.

Los fustales superan, en contenido de carbono almacenado (tC ha⁻¹), a los latizales en un 28%. Los brinzales presentan menor contenido de carbono almacenado (0.14 tC ha⁻¹).

El carbono promedio almacenado por hectárea en los fustales, un mayor porcentaje se concentró en los fustales no comerciales, seguido por los árboles aprovechables y un porcentaje más pequeño los semilleros, remanentes y futura cosecha (Figura 9 y Cuadro 21A).

Figura 9. Carbono almacenado en fustales



* Es el promedio de las áreas efectivas de los fustales.

♦ Es el promedio de las áreas efectivas.

7. CONCLUSIONES.

- a) Utilizando la comparación de medias, se pudo verificar que no existe diferencias de promedios de gravedad específica entre especies y componentes del árbol ($P > 0.05$).
- b) La fracción de carbono presente en la biomasa para las especies fue de 0.48 incluyendo el fuste y las ramas, aproximándose la relación empírica de que la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1.
- c) En la medición directa de biomasa se obtuvo una biomasa total de 118,047.70 kg, lo cual equivale a 56,662.89 kg. (56.66 tm) de carbono almacenado; la mayor cantidad de biomasa se concentró en los fustales y latizales; la hojarasca contuvo un 94% de biomasa más que los brinzales.
- d) El factor de expansión de biomasa (FEB) en promedio fue de 1.80. Los fustales presentaron un promedio de FEB de 1.73, los latizales 1.51 y los brinzales 2.15.
- e) Los modelos que mejor ajustaron la biomasa total, en el caso de los fustales, fueron los que están en función del Dap y en el caso de los latizales, fueron los que están en función del Dap y la altura total; para estas categorías de vegetación (fustales y latizales) se optó por utilizar el Dap para estimar biomasa total ya que la variable (Dap) es una medición directa y no una estimación. Todos los modelos generados tienen transformaciones logarítmicas.
- f) Las ecuaciones son aplicables a estos tipos de bosques y son funcionales para el rango de Dap que representan. Por lo tanto, deben ser utilizadas para calcular biomasa aérea total de árboles con dimensiones similares a la de los árboles muestreados en este estudio
- g) En el caso de los brinzales, se encontró una alta correlación entre la altura total y la biomasa total y el mejor modelo que lo representó fue un modelo lineal.

- h) La cantidad de biomasa total estimada para el área de corta anual 2001, es de 1,812.49 toneladas, lo cual equivale a 876.76 toneladas de carbono almacenado. El promedio por hectárea de biomasa y carbono almacenado para el área en estudio fue de 78.39 t ha^{-1} y 37.96 tC ha^{-1} .
- i) Los fustales superan, en contenido de carbono almacenado (tC ha^{-1}), a los latizales en un 28%. Los brinzales presenta menor contenido de carbono almacenado (0.30 tC ha^{-1}).

8. RECOMENDACIONES.

- a) Se recomienda aplicar la metodología propuesta en la presente investigación en otras áreas boscosas bajo manejo forestal, con el propósito de conformar modelos de biomasa para toda la región.
- b) Para estimar biomasa total en bosques con similar estructura, se recomienda utilizar los modelos desarrollados en la presente investigación, los cuales están en función del Dap, la cual es una variable fácil de medir.
- c) Es necesario hacer una cuantificación de la biomasa y carbono en desperdicios para tener una idea general de la cantidad de la biomasa y carbono que se almacena y se pierde por efecto del aprovechamiento forestal.
- d) Es de suma importancia realizar estudios de valorización económica que incluyan los servicios ambientales que producen los bosques bajo manejo forestal, con el propósito de fortalecer la sostenibilidad de los mismos.
- e) Es de vital importancia socializar los resultados de éste y otros estudios enfocados a servicios ambientales, para que los concesionarios conciban el manejo forestal de una manera más integral y así evitar simplificar dicho manejo en sólo la extracción de productos maderables.

9. BIBLIOGRAFÍA.

ALFARO, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico No. 19. Turrialba, Costa Rica. P. 9- 12

BAMACA, E. 1999. Diagnostico de la sociedad civil "Organización, Manejo y Conservación" -OMYC-, Uaxactún, Flores, Petén. Ejercicio Profesional Supervisado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 40 pag.

BROWN, S.; LUGO, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with Applications to forest inventory data. Forest Science. 35 (4): 381-902

CAMPOS A.; ORTÍZ, R. 2000. Almacenamiento de carbono y conservación de biodiversidad por medio de actividades forestales en el Área de Conservación Cordillera volcánica Central, Costa Rica. CATIE-CIFOR. Turrialba, Costa Rica. 70 p.

CONAP (CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS). 1990. Ley de Áreas Protegidas y su Reglamento. Decreto 4-89. Ciudad de Guatemala. 68 Pág.

CONAP (CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS). 1992. Plan Maestro de la Reserva de Biosfera Maya. Guatemala. 27 Pág.

CORRALES, L. 1998. Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado: Carbono estimado (masa aérea) en los bosques de Belice (en línea). Consultado el 10 ene. 2001. Disponible en [http:// www. Capas.org/infccclin.htm](http://www.Capas.org/infccclin.htm).

CRUZ, R.J., DE LA. 1976. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala. Instituto Nacional Forestal. 42 Pág.

LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los Trópicos. República Federal de Alemania. GTZ. 335 p.

MÁRQUEZ, L. 2000. Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso del Suelo. Fundación Solar. Guatemala. 33 pig.

MILLER, T. 1994. Ecología y Medio Ambiente. Editorial Iberoamérica. México, D.F. 867 p.

MORALES, C.P; MORALES, J.R.. 1998. Registro de la Actividad de Cacería en la Comunidad de Uaxactún, Flores, Petén, Guatemala. Ciudad de Guatemala. Unpublished, available from ONCA.

NPV (FUNDACIÓN NATURALEZA PARA LA VIDA). 1999. Plan de manejo integrado de la Unidad de Manejo Uaxactún. Santa Elena, Petén, Guatemala. 55 p.

NPV (FUNDACIÓN NATURALEZA PARA LA VIDA). 2001. Plan Operativo Anual, Unidad de Manejo Uaxactún. Santa Elena, Petén, Guatemala. 55 p.

ORTÍZ M. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimientos de árboles individuales y bosques.

PEDRONI, L. 1999a. Implementación conjunta y desarrollo limpio: Antecedentes a Nivel mundial. Unidad de manejo de bosques naturales. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico No. 10. Turrialba, Costa Rica. P. 4- 15

_____ 1999b. Implementación conjunta y desarrollo limpio: La experiencia en Centroamérica. Unidad de manejo de bosques naturales. CATIE. Serie Técnica. Informe técnico No. 10. Turrialba, Costa Rica. P. 4- 15

Proyecto piloto internacional para captura de carbono y desarrollo silvicultural comunitario en Chiapas, México, MEX. 2001. Calentamiento Global (en línea) México. Consultado 5 ene. 2000. Disponible en www.ecosur.mx/scolel/cc.htm

ROMERO A. 1999. Mitigación de los gases con efecto invernadero por medio de la actividad forestal en terrenos de propiedad privada en Costa Rica. Fondo para el Financiamiento Forestal, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Costa Rica. 69 p.

SEGURA M. 1999. Valoración de los servicios de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis Mag. Catie. Sc. Costa Rica. 119 p.

SEGURA M.; VENEGAS, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. 46 p.

SIMMONS, C.S.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Editorial José de Pineda Ibarra. Guatemala, Guatemala. 1000 p.

SOLIZ S. 1998. Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis Mag. Catie. Sc. Costa Rica. 113 p.

10. ANEXOS.

Cuadro 19A. Gravedad específica de ramas y fuste de los árboles muestreados

No. Muestras	Cod	No.	Parte	GE
1	B	80	Tocón	0.73
2	A	94	Tocón	0.62
3	A	94	Rama	0.62
4	A	79	Tocón	0.66
5	A	79	Rama	0.61
6	A	4	Rama	0.69
7	B	182	Tocón	0.66
8	A	65	Rama	0.68
9	A	85	Rama	0.88
10	A	4	Tocón	0.64
11	B	241	Tocón	0.41
12	A	56	Tocón	0.61
13	A	22	Rama	0.69
14	B	241	Rama	0.52
15	A	22	Tocón	0.73
16	A	20	Rama	0.77
17	A	20	Tocón	0.85
18	A	56	Rama	0.63
19	A	50	Tocón	0.65
20	A	50	Rama	0.72
21	B	181	Rama	0.52
22	B	181	Tocón	0.63
23	A	96	Tocón	0.91
24	B	199	Rama	0.67
25	A	85	Tocón	0.86
26	B	199	Tocón	0.76
27	A	65	Tocón	0.70
28	B	53	Tocón	0.60
29	B	53	Rama	0.67
30	B	156	SANEO	0.33
31	A	96	Rama	0.86
32	B	156	Tocón	0.38
33	B	80	Rama	0.78
34	A	76	Rama	0.64
35	A	76	Tocón	0.72
36	B	215	Rama	0.77
37	B	215	Tocón	0.85
38	B	126	Rama	0.45
39	B	126	Tocón	0.58

No. Muestras	Cod	No.	Parte	GE
40	A	84	Rama	0.90
41	A	84	Tocón	0.97
42	B	132	Tocón	0.58
43	B	132	Rama	0.58
44	B	179	Rama	0.55
45	B	156	Rama	0.46
46	A	29	Rama	0.58
47	B	20	Tocón	0.44
48	A	77	Tocón	0.94
49	A	29	Tocón	0.58
50	A	77	Rama	0.78
51	B	170	Tocón	0.54
52	B	213	Tocón	0.92
53	B	213	Rama	0.78
54	B	20	Rama	0.47
				0.68

GE: Gravedad específica.

Cuadro 20A. Modelos para determinar biomasa total en fustales a partir del Dap.

No.	Modelo	R ²	R ² -ajust	CME	CV (%)	IF
[15]	$\text{LogBt} = -1.78384 + 0.05078 * \text{Dap} - 0.00024085 * \text{Dap}^2$	0.95	0.95	0.03	-124.62	0.028
[16]	$\text{LogBt} = -2.37247 + 0.3447 * \sqrt{\text{Dap}}$	0.94	0.94	0.04	-141.17	0.030
[17]	$\text{LogBt} = -0.79961 + 0.00021105 * \text{Dap}^2$	0.71	0.70	0.20	-312.43	0.033
[18]	$\text{LogBt} = -1.34922 + 0.02563 * \text{Dap}$	0.89	0.89	0.08	-192.26	0.055
[19]	$\sqrt{\text{Bt}} = -1.20323 + 0.37589 * \sqrt{\text{Dap}}$	0.92	0.92	0.06	20.72	0.072
[20]	$\sqrt{\text{Bt}} = -2.73407 + 2.53731 * \log \text{Dap}$	0.88	0.88	0.10	25.68	0.110
[21]	$\sqrt{\text{Bt}} = -2.73407 + 1.10194 * \ln \text{Dap}$	0.88	0.88	0.10	25.68	0.110
[22]	$\ln \text{Bt} = -8.96605 + 2.40215 * \ln \text{Dap}$	0.96	0.96	0.16	-119.69	0.112
[23]	$\ln \text{Bt} = -4.10744 + 0.11693 * \text{Dap} - 0.00055458 * \text{Dap}^2$	0.95	0.95	0.17	-124.62	0.122
[24]	$\sqrt{\text{Bt}} = 0.44106 + 0.00025293 * \text{Dap}^2$	0.84	0.84	0.13	29.89	0.149
[25]	$\ln \text{Bt} = -5.46281 + 0.79371 * \sqrt{\text{Dap}}$	0.94	0.94	0.22	-141.17	0.156
[26]	$\ln \text{Bt} = -1.84116 + 0.00048596 * \text{Dap}^2$	0.71	0.70	1.07	-312.43	0.173
[27]	$\ln \text{Bt} = -3.1067 + 0.05901 * \text{Dap}$	0.89	0.89	0.40	-192.26	0.290
[28]	$\ln \text{Bt} = -1.84116 + 0.00048596 * \text{Dap}^2$	0.71	0.70	1.07	-312.43	0.766
[29]	$\text{Bt} = -1.38169 + 0.07843 * \text{Dap}$	0.84	0.83	1.13	46.00	1.127
[30]	$\text{Bt} = -4.09788 + 0.99065 * \sqrt{\text{Dap}}$	0.78	0.77	1.51	53.31	1.514
[31]	$\text{Bt} = -7.83861 + 8.82245 * \ln \text{Dap}$	0.70	0.70	2.04	61.85	2.037

Donde: R²: Coeficiente de determinación; R²-ajust: Coeficiente de determinación ajustado; CME: Cuadrado medio del error; CV (%): coeficiente de variación en porcentajes; IF: Índice de Furnival.

Cuadro 21A. Modelos para determinar biomasa total en latizales a partir del Dap y altura total.

No.	Modelo	R ²	R ² -ajust	CME	CV (%)	IF
[32]	$\text{LogBt} = -1.02794 + 0.51534 \cdot \text{Dap} - 0.02872c \cdot \text{Dap}^2$	0.95	0.95	0.012	17.50	0.048
[33]	$\text{LogBt} = -0.89123 + 2.45542 \cdot \text{LogDap}$	0.95	0.95	0.012	17.21	0.048
[34]	$\text{LogBt} = -0.53718 + 0.2568 \cdot \text{Dap}$	0.94	0.93	0.015	19.53	0.062
[35]	$\sqrt{\text{Bt}} = -0.44739 + 0.61893 \cdot \text{Dap}$	0.94	0.94	0.074	11.56	0.113
[36]	$\sqrt{\text{Bt}} = 0.74265 + 0.0681 \cdot \text{Dap}^2$	0.94	0.94	0.080	12.02	0.122
[37]	$\sqrt{\text{Bt}} = -2.92444 + 2.53415 \cdot \sqrt{\text{Dap}}$	0.94	0.94	0.085	12.38	0.130
[38]	$\sqrt{\text{Bt}} = -1.22433 + 5.79417 \cdot \text{LogDap}$	0.92	0.92	0.107	13.90	0.164
[39]	$\sqrt{\text{Bt}} = -1.22433 + 2.51638 \cdot \text{LnDap}$	0.92	0.92	0.107	13.90	0.164
[40]	$\text{LnBt} = -2.05213 + 2.45542 \cdot \text{LnDap}$	0.95	0.95	0.061	17.21	0.257
[41]	$\text{LnBt} = -2.36692 + 1.18661 \cdot \text{Dap} + -0.06612c \cdot \text{Dap}^2$	0.95	0.95	0.063	17.50	0.266
[42]	$\text{LnBt} = -3.65566 + 2.44616 \cdot \sqrt{\text{Dap}}$	0.95	0.95	0.065	17.77	0.274
[43]	$\text{LnBt} = -1.23691 + 0.59131 \cdot \text{Dap}$	0.94	0.93	0.079	19.53	0.331
[44]	$\text{Bt} = 0.63466 + 0.03055 \cdot \text{Dap}^2 \cdot \text{Ht}$	0.92	0.92	2.625	23.77	2.625
[45]	$\text{Bt} = -0.9741 + 0.32983 \cdot \text{Dap}^2$	0.91	0.91	2.868	24.85	2.868
[46]	$\text{Bt} = -0.9741 + 0.32983 \cdot \text{Dap}^2$	0.91	0.91	2.868	24.85	2.868
[47]	$\text{Bt} = -7.31262 + 2.32209 \cdot \text{Dap} + 0.51203c \cdot \text{Ht}$	0.90	0.89	3.322	26.74	3.322
[48]	$\text{Bt} = -6.51194 + 2.94766 \cdot \text{Dap}$	0.88	0.88	3.692	28.19	3.692
[49]	$\text{Bt} = 31.22777 + 179.6974 \cdot (1/\text{Dap}^2) + -148.91609c \cdot (1/\text{Dap})$	0.87	0.87	4.186	30.02	4.186
[50]	$\text{Bt} = -18.08679 + 11.9622 \cdot \sqrt{\text{Dap}}$	0.86	0.86	4.431	30.89	4.431
[51]	$\text{Bt} = -9.90841 + 11.77048 \cdot \text{LnDap}$	0.83	0.83	5.411	34.13	5.411
[52]	$\text{Bt} = -9.90841 + 27.10252 \cdot \text{LogDap}$	0.83	0.83	5.411	34.13	5.411
[53]	$\text{Bt} = 12.11216 - 62.92221 \cdot (1/\text{Dap}^2)$	0.64	0.63	11.526	49.81	11.526
[54]	$\text{Bt}^2 = -43.9532 + 5.14854 \cdot \text{Dap}^2$	0.74	0.73	2,514.2	64.58	22153.5

Donde: R²: Coeficiente de determinación; R²-ajust: Coeficiente de determinación ajustado; CME: Cuadrado medio del error; CV (%): coeficiente de variación en porcentajes; IF: Índice de Furnival.

Cuadro 22A. Modelos para determinar biomasa total en Brinzales a partir de la altura total.

No.	Modelo	R ²	R ² -ajust	CME	CV (%)	IF
[55]	$Bt^2 = -0.0001326 + 0.00068954 * Ht^2$	0.75	0.74	0.000000021	124.84	0.0000000023
[56]	$Bt = 0.05472 + 0.0079 * 1/Ht^2 - 0.04067 * 1/Ht$	0.77	0.75	0.000014340	49.24	0.00001434000
[57]	$Bt = -0.02796 + 0.04857 * \sqrt{Ht}$	0.76	0.75	0.000014560	49.62	0.00001456000
[58]	$Bt = 0.01972 + 0.01855 * \ln Ht$	0.70	0.69	0.000018130	55.36	0.00001813000
[59]	$Bt = 0.01972 + 0.04272 * \log Ht$	0.70	0.69	0.000018130	55.36	0.00001813000
[60]	$\log Bt = -1.71361 + 1.89734 * \log Ht$	0.74	0.74	0.028240000	-7.48	0.00015950211
[61]	$\log Bt = -3.30304 + 2.39271 * Ht - 0.77062 * Ht^2$	0.74	0.73	0.029350000	-7.62	0.00016577212
[62]	$\log Bt = -2.92509 + 1.21533 * Ht$	0.71	0.70	0.032230000	-7.99	0.00018203897
[63]	$\ln Bt = -3.94572 + 1.89734 * \ln Ht$	0.74	0.74	0.149740000	-7.48	0.00084575611
[64]	$\ln Bt = -7.60553 + 5.50943 * Ht - 1.77441 * Ht^2$	0.74	0.73	0.155610000	-7.62	0.00087891174
[65]	$\ln Bt = -6.73526 + 2.7984 * Ht$	0.71	0.70	0.170860000	-7.99	0.00096504602
[66]	$\sqrt{Bt} = -0.08371 + 0.22422 * \sqrt{Ht}$	0.80	0.79	0.000243830	19.31	0.00316915385
[67]	$\sqrt{Bt} = 0.13769 + 0.02758 * \ln Ht$	0.77	0.76	0.000279630	20.68	0.00475572100
[68]	$\sqrt{Bt} = 0.13769 + 0.20166 * \log Ht$	0.77	0.76	0.000279630	20.38	0.00475572433
[69]	$\sqrt{Bt} = 0.05039 + 0.08453 * Ht^2$	0.77	0.76	0.000281890	20.76	0.00477466940
[70]	$\log Bt = -3.75812 + 2.05715 * \sqrt{Ht}$	0.73	0.73	0.029250000	-7.61	0.85949457349

Donde: R²: Coeficiente de determinación; R²-ajust: Coeficiente de determinación ajustado; CME: Cuadrado medio del error; CV (%): coeficiente de variación en porcentajes; IF: Índice de Furnival.

Cuadro 23A. Biomasa y carbono almacenado en el área de corta anual 2001 en Uaxactún, Flores, Petén.

Categoría de vegetación	Bt	CA	Area efectiva (ha)	Bt	CA
	(t)	(t)		(t ha/año)	(tC ha/año)
Aprovechables	954.3638	458.0946	103	9.266	4.448
Semilleros, remanentes, futura cosecha	716.3734	343.8593	172	4.165	1.999
Fustales no comerciales	139.0192	74.4977	2.00	69.510	37.249
Latizales	2.7296	1.3102	0.15	18.197	8.735
Brinzales	0.0018	0.0009	0.006	0.297	0.143
Hojarasca	0.005265	0.0025	0.001125	4.68	2.34

Bt: Biomasa total; (t): total; (t ha/año): total de biomasa por ha.; (tC): total de carbono almacenado; (tC ha/año): total de carbono por ha; CA: Carbono almacenado.

Cuadro 24A. Variables registradas en individuos seleccionados por categoría de vegetación.

No. de individuos seleccionados	Categoría de vegetación.	Variables registradas		
		Altura Comercial	Altura Total	Dap
45	Brinzales		X	
90	Latizales	X	X	X
51	Fustales	X	X	X
Total: 186				

Cuadro 25A. Etiquetas elaboradas por muestra recolectada.

