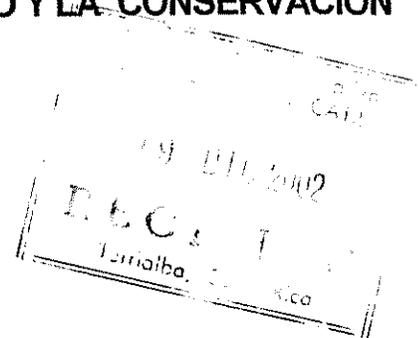


Dinámica del carbono en los residuos forestales producidos
durante el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biosfera
"Maya", Petén, Guatemala

EDGAR ESTUARDO BÁMACA FIGUEROA

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO



**DINAMICA DEL CARBONO EN LOS RESIDUOS FORESTALES
PRODUCIDOS DURANTE EL APROVECHAMIENTO Y EL ASERRIO EN LA
RESERVA DE BIOSFERA "MAYA", PETÉN, GUATEMALA**

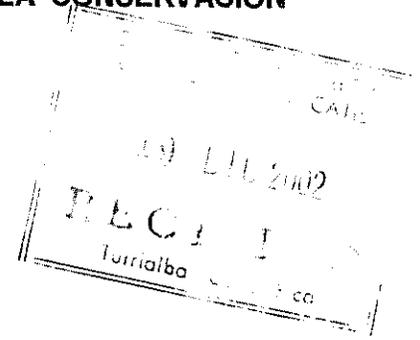
POR

Edgar Estuardo Bámaca Figueroa

CATIE

**Turrialba, Costa Rica
2002**

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**



**DINAMICA DEL CARBONO EN LOS RESIDUOS FORESTALES PRODUCIDOS
DURANTE EL APROVECHAMIENTO Y EL ASERRIO EN LA RESERVA DE
BIOSFERA "MAYA", PETÉN, GUATEMALA**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

Por

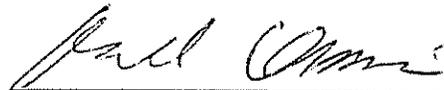
✓
EDGAR ESTUARDO BAMACA FIGUEROA

Turrialba, Costa Rica
2002

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

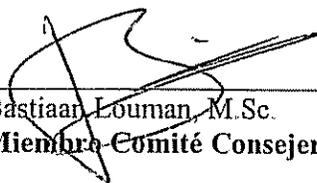
FIRMANTES:



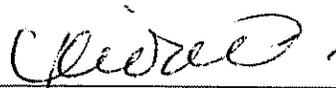
Markku Kanninen, Ph.D.
Consejero Principal



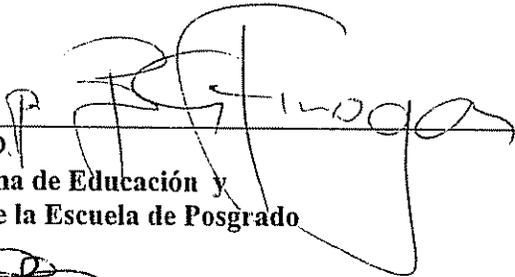
Lucio Pedroni, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



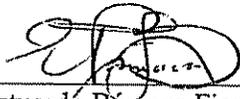
Bastiaan Louman, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Manuel Gómez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
**Director Programa de Educación y
Decano de la Escuela de Posgrado**



Edgar Estuardo Bámaca Figueroa
Candidato

A
Francisco Pacheco
En memoria

DEDICATORIA

A Dios
Supremo creador,
fuente principal de toda sabiduría.

A La Virgen María
Madre de nuestro señor Jesucristo
y madre nuestra.

A mi bella Guatemala
País que me vio nacer y
del cual me siento profundamente orgulloso.

A mis padres Manuel y Rubenia
Como muestra de mi cariño, respeto y agradecimiento eterno
ya que a ellos le debo lo que soy.

A mis hermanos Víctor y Ana
Para que sigamos adelante como una familia unida.

A Claudia
Por darme su amor, apoyo y paciencia
durante este tiempo de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A Markku Kanninen, Ph.D., consejero principal, por su apoyo, dirección, sugerencias, tiempo y apoyo financiero. Sin su apoyo la culminación de esta investigación no hubiese sido posible.

Al proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono en Centroamérica (LUCCAM), CATIE/Universidad de Helsinki por haber financiado la realización del presente estudio.

A Bastiaan Louman, M.Sc.; Lucio Pedroni, Ph.D.; Manuel Gómez, M.Sc., por el interés mostrado en la investigación y sus acertados comentarios y sugerencias al documento.

A la Fundación Naturaleza Para la Vida, en especial al Ing. For. Gustavo Pinelo por su apoyo incondicional durante la etapa de campo del presente estudio.

A las sociedades civiles "Impulsores Suchitecos" y "Organización, Manejo y Conservación", en especial a sus juntas directivas, por el apoyo y colaboración brindada en la etapa de campo. Algún día volveremos a recorrer la majestuosa selva petenera.

A Francisco Pacheco (Q.E.P.D.), por ser maestro y amigo a la vez. Sus enseñanzas en la identificación de árboles las llevare por siempre.

Al CATIE y a los profesores de maestría por sus enseñanzas y consejos durante estos dos años de estudios.

Al personal de la Escuela de Posgrado y a todo el personal del CATIE, muchas gracias por todo su apoyo y colaboración.

A los miembros de la Banda: William, Giovanni, Audino y Abby, por su compañerismo y amistad, mi familia en CATIE y Costa Rica.

A mis compañeros de estudio, en especial a Claudia, William, Giovanni, Audino, Abby, Olga, Beatriz, Román, Fabiola, Jorge (Guate), Jorge (México) y Lucho; por brindarme su amistad y compañerismo. Pílas mucha, siempre para adelante.

A los mejengueros de los martes en la escuelita. Que esta tradición nunca muera en el CATIE.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron durante estos dos maravillosos años en el CATIE, tiempo que me permitió la obtención de mi maestría.

BAMACA FIGUEROA, EE. 2002. Dinámica del carbono en los residuos forestales producidos durante el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biosfera "Maya", Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 75 p.

Palabras claves: aprovechamiento forestal, aserrío, residuos forestales, carbono.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar los procesos de aprovechamiento forestal y aserrío por medio de los flujos de carbono en los residuos producidos durante el año 2002, en la unidad de manejo (UM) Río Chanchich y UM Uaxactún, ambas ubicadas en la Reserva Biosfera "Maya", Guatemala. Las áreas aprovechadas fueron 366 ha (3.5 ind/ha) y 400 ha (0.7 ind/ha), respectivamente. Para este propósito se construyeron cuatro escenarios: aprovechamiento mejorado con dos diferentes tecnologías de aserrío y aprovechamiento tradicional, también con dos tecnologías de aserrío.

Para el aprovechamiento mejorado se seleccionaron 4.5% de los individuos aprovechados en Río Chanchich y 18.5% en Uaxactún, estimándose el volumen de madera de todo el individuo. A 49 individuos de Río Chanchich, se les estimó la biomasa dañada por la acción de su caída. La biomasa removida por la construcción de caminos, se estimó a partir de 50 parcelas en cada área de estudio, extrapolando a la longitud total de estos. Para los patios de acopio se censó la biomasa antes de su apertura y por diferencia con el área real aperturada, se estimó la biomasa removida. En el aserradero, se tomó la información de 95 trozas provenientes de Río Chanchich, estimándoseles el volumen útil y de residuos.

Para el aprovechamiento tradicional y aserrío con motosierra, se trabajó con información de literatura y bases de datos, aplicando la información reportada a los mismos datos que en el aprovechamiento mejorado.

El volumen total de un individuo es de 6.24 m³, del cual 53.3% bajó al aserrío y el resto permanece como residuo en el bosque. De la madera aserrada el 87% es madera real, el resto es corteza. El rendimiento fue de 51.2% para un aserradero portátil y de 39.7% para motosierra, ambos a partir de trozas sin corteza.

En el escenario de aprovechamiento mejorado y aserradero, en Río Chanchich, se removió del bosque 10.2 ton C/ha, pasando a productos solo 1.4 ton C/ha, el resto son residuos. En Uaxactún, se removió 3.1 ton C/ha, pasando a productos 0.4 ton C/ha. Bajo un aprovechamiento mejorado y motosierra se removería las mismas cantidades, pero en el caso de Río Chanchich, pasaría a productos 1.1 ton C/ha y en Uaxactún 0.3 ton C/ha

En un aprovechamiento tradicional y motosierra se removería en Río Chanchich 13.7 ton C/ha pasando a productos 1 ton C/ha, mientras que con aserradero pasaría a productos 1.3 ton C/ha. Para Uaxactún, con un aprovechamiento tradicional y motosierra se removería 4.13 ton C/ha, permaneciendo en productos 0.3 ton C/ha, mientras que con aserradero aumenta a 0.35 ton C/ha.

Las comunidades que manejan las UM, deben de buscar los mecanismos para elevar el carbono que pasa a productos, ya que actualmente es en promedio el 13.3% del removido del bosque.

BAMACA FIGUEROA, E.E. 2002. Carbon dynamic in forest residuals produced during the management and sawing at the Reserva Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 75 P.

Key words: forest management, sawing, forest residuals, carbon.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate carbon dynamic in residuals produced during the processes of forest and sawing management in the management units (MU) Río Chanchich and Uaxactún during 2002, both located in the Reserva Biosfera Maya, Guatemala. The managed areas were 366 ha (3.5 ind/ha) and 400 ha (0.7 ind/ha), respectively. Four scenarios were constructed: two different sawing technologies with improved management, and two sawing technologies with traditional management.

In the improved management, the total individual wood volume were estimated from a selection of 4.5% of improved individuals in Río Chanchich and 18.5% in Uaxactún. The damaged biomass caused by falling action of 49 individuals in Río Chanchich was estimated. The removed biomass of road construction was estimated from 50 plots in each study area and extrapolating this information to the total road long. In the stock yards, the removed biomass was estimated with the biomass before opening and the actual opening area. In the sawing, the useful volume and residuals from 95 wood pieces coming from Río Chanchich was estimated.

For the traditional management and motor chain sawing, the information was obtained from literature review and data bases. The same information was applied to the improved management.

The total volume of one individual was 6.24 m³. From this total, 53.3% arrives to the sawing area while the rest remains as residual in the forest. Of the sawed wood, 87% is real wood, the rest is bark. It is reported a productivity of 51.2% for the portable sawmill and 39.7% in the case of the motor chain saw, both of them estimated with pieces without bark.

In the scenario with improved management and sawmill, 10.14 C ton/ha were removed from the forest, transferring 1.3 C ton/ha as products (the rest is residual) in Río Chanchich. In Uaxactún, a total of 3.1 C ton/ha were removed, transferring a total of 0.4 C ton/ha as products. With an improved management with motor chain saw, the same amount of carbon would be removed, but the Carbon transferred as product would diminished to 1 C ton/ha in Río Chanchich and 0.3 C ton/ha in Uaxactún.

In the scenario with traditional management and motor chain saw, a total of 13.7 C ton/ha would be removed in Río Chanchich, transferring 1 C ton/ha as a product. In the case of a sawmill, a total of 1.3 C ton/ha would be transferred as products. In Uaxactún, a total of 4.2 C ton /ha would be removed from forest, keeping 0.3 C ton/ha in products in the case with traditional management and motor chain saw. In the case of sawmill, it is increased to 0.35 C ton/ha.

The communities that manage both MU should look for ways to increase the Carbon kept as products, because the current mean is 12% of the total Carbon removed from forest.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
1.1. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. HIPÓTESIS	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. LA IMPORTANCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO	5
2.1.1. El CO ₂ y el cambio climático	5
2.1.2. Estrategias para controlar el cambio climático	6
2.2. EL PAPEL DE LOS BOSQUES EN EL CAMBIO CLIMÁTICO	8
2.3. RESIDUOS DURANTE EL APROVECHAMIENTO FORESTAL Y ASERRÍO	9
2.3.1. Descomposición de la madera	10
2.3.2. Modelos de operación de aprovechamientos forestales	12
2.3.3. Estudios previos	13
2.3.4. Usos alternativos de los residuos de madera	14
3. MATERIALES Y METODOS	16
3.1. ESQUEMA GENERAL	16
3.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	16
3.2.1. Características biogeográficas	17
3.2.2. Condiciones socioeconómicas	17
3.3. DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN Y TIPO DE MUESTREO UTILIZADO	18
3.4. RECOLECCIÓN DE DATOS	18
3.4.1. Aprovechamiento mejorado	18
3.4.2. Aserrío con aserradero	21
3.4.3. Aprovechamiento tradicional y aserrío con motosierra	22
3.4.4. Estimación del carbono contenido por los residuos	23
3.5. ANÁLISIS DE DATOS	24
3.6. ELABORACIÓN DE ESCENARIOS	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	25
4.1. RESIDUOS PRODUCIDOS EN CAMPO POR LOS ÁRBOLES ESTUDIADOS	25
4.1.1. Volumen total por individuo	25
4.1.2. Residuos por individuo	25
4.1.2.1. Tocones	26
4.1.2.2. Fuste no comercial	27
4.1.2.3. Ramas	28
4.1.3. Estimación de volumen de madera comercial en campo	30
4.1.4. Residuos producidos en la tumba por los árboles estudiados	32
4.2. RESIDUOS PRODUCIDOS EN EL ASERRÍO DE LA MUESTRA ESTUDIADA	33
4.2.1. Aserrío con aserradero	33
4.2.2. Aserrío con motosierra	37
4.2.3. Comparación entre aserrío con aserradero vrs con motosierra	38
4.3. ESTIMACIÓN DEL CARBONO EN RESIDUOS PRODUCIDOS POR EL APROVECHAMIENTO FORESTAL	39
4.3.1. ESCENARIO 1. Aprovechamiento forestal mejorado y aserrío con aserradero	39
4.3.1.1. Desperdicios en campo	40

4.3.2.	Desperdicios en aserradero.....	44
4.3.2.1.	Carbono total removido.....	45
4.3.3.	ESCENARIO 2. Aprovechamiento forestal tradicional y aserrío con motosierra.....	46
4.3.4.	Residuos en campo.....	47
4.3.5.	Residuos en aserrío.....	49
4.3.5.1.	Carbono total removido.....	50
4.3.6.	ESCENARIO 3. Aprovechamiento forestal tradicional y aserrío con aserradero.....	50
4.3.6.1.	Residuos en campo.....	50
4.3.6.2.	Residuos en aserrío.....	51
4.3.6.3.	Carbono total removido.....	52
4.3.7.	ESCENARIO 4. Aprovechamiento forestal mejorado y aserrío con motosierra.....	53
4.3.7.1.	Residuos en campo.....	53
4.3.8.	Residuos en aserrío.....	54
4.3.9.	Carbono total removido.....	54
4.4.	COMPARACIONES ENTRE ESCENARIOS Y UNIDADES DE MANEJO.....	55
5.	CONCLUSIONES.....	58
6.	RECOMENDACIONES.....	60
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	61
8.	ANEXOS.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Etapas metodológicas y resultados del estudio.....	16
Cuadro 2.	Información general de los Planes Operativos Anuales 2002 y de la muestra de las unidades de manejo en estudio.....	19
Cuadro 3.	Individuos seleccionados para la estimación del volumen de ramas menores de 20 cm de grosor.....	20
Cuadro 4.	Densidades o peso básico de algunas especies maderables del Petén.....	23
Cuadro 5.	Volumen de ramas por clase de diámetro.....	28
Cuadro 6.	Volumen de madera residuos (m ³) por grupo en relación a un metro cúbico de madera útil en troza.....	31
Cuadro 7.	Diferencia entre diámetro con corteza y sin corteza para 6 especies forestales.....	34
Cuadro 8.	Información general de las trozas utilizadas para la estimación de desperdicios con motosierra.....	37
Cuadro 9.	Rendimiento de aserrío bajo dos tecnologías de producción.....	38
Cuadro 10.	Variables dasométricas para las áreas de aprovechamiento 2002, de las unidades de manejo en estudio.....	41
Cuadro 11.	Biomasa y carbono removidos por construcción de camino principal y vías de arrastre en las unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactún.....	42
Cuadro 12.	Biomasa y carbono removidos por construcción de bacardillas "patios de acopio" en las unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactún.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Relación entre dap y el volumen total de madera.....	25
Figura 2.	Relación del volumen de residuos por individuo con el diámetro a la altura del pecho y con el volumen total por individuo.....	26
Figura 3.	Relación del volumen del tocón con el diámetro a la altura del pecho.....	27
Figura 4.	Relación del volumen de ramas > 20 cm de grosor con el diámetro a la altura del pecho.....	29
Figura 5.	Relación entre diámetro a la altura del pecho y fuste comercial en campo.....	31
Figura 6.	Intensidad de daño (número de individuos y área basal) por clase diamétrica de los individuos seleccionados	32
Figura 7.	Relación entre volumen de troza y volumen útil para aserrío con motosierra.....	38
Figura 8.	Flujograma de madera de un individuo promedio de las UM Río Chanchich y Uaxactún, bajo el sistema de aprovechamiento mejorado y aserrío con aserradero.....	40
Figura 9.	Carbono total removido durante el aprovechamiento forestal 2002 bajo un sistema de aprovechamiento mejorado.....	41
Figura 10.	Carbono total en desperdicios y en madera utilizable en el proceso de aserrío con aserradero, UM Río Chanchich y Uaxactún.....	45
Figura 11.	Flujograma de madera de un individuo promedio aprovechado bajo sistema tradicional y aserrío con motosierra.....	47
Figura 12.	Carbono total en desperdicios y en madera útil en el proceso de aserrío con motosierra, unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactún.....	49
Figura 13.	Flujograma de madera de un individuo promedio aprovechado bajo sistema tradicional y aserrío con aserradero.....	51
Figura 14.	Carbono total en residuos y en madera útil en el proceso de aserrío, del escenario de aprovechamiento tradicional y aserrío con aserradero.....	52
Figura 15.	Flujograma de madera de un individuo promedio aprovechado bajo el sistema de aprovechamiento mejorado y aserrío con motosierra.....	53
Figura 16.	Carbono total en residuos de aserrío y en madera útil, bajo un sistema de aprovechamiento mejorado y aserrío con motosierra, en dos unidades de manejo de la Reserva Biosfera "Maya".....	54
Figura 17.	Dinámica del carbono (ton/ha) antes y después del aprovechamiento forestal..	56

1. INTRODUCCION

1.1. Caracterización del problema

El calentamiento global es una de las principales preocupaciones ambientales en los últimos años de gobiernos, organizaciones ambientalistas y grupos afines, el cual consiste en procesos de alteración de patrones de lluvia y temperaturas en todo el mundo (Carson 1996; Alatorre 1997), ocasionando sequías en algunas regiones y lluvia excesiva en otros; haciendo mas frecuentes las tormentas, ciclones e inundaciones y provocando mayor incidencia de plagas agrícolas y enfermedades humanas (Alatorre 1997).

El proceso de calentamiento global tiene su origen en causas antropogénicas (Martín 1996) principalmente por la liberación de gases de efecto de invernadero (GEI) a la atmósfera, siendo las principales fuentes emisoras la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de la tierra (Dixon *et al.* 1994; Trexler *et al.* 1995; Ciesla 1996; Fundación Solar 2000). Los gases de efecto de invernadero juegan un papel importante en el efecto natural de invernadero de la Tierra, ya que estos ayudan a retener calor en la baja atmósfera; el problema es que al elevarse sus concentraciones, estos pueden influenciar elevando las temperaturas mundiales (Ciesla 1996).

El CO₂ es el más importante de los gases de efecto de invernadero que el hombre produce, tanto en términos de la cantidad presente en la atmósfera como por sus potenciales efectos en el calentamiento global (Brown 1996; Ciesla 1996). Junto con la quema de combustibles fósiles, la vasta deforestación y quema de residuos forestales han causado un aumento del 25% de la concentración de CO₂ en la atmósfera, a partir de la revolución industrial a mediados del siglo XVIII (Ciesla 1996).

Para solucionar el problema del calentamiento global bastaría con que los principales países emisores de gases de invernadero dejaran de producirlos, lo cual sería imposible debido a que las economías más fuertes del mundo están basadas en la utilización de combustibles fósiles, especialmente petróleo. Por lo tanto solo quedan dos caminos, la adaptación y la mitigación (Ciesla 1996). La mitigación se logra gracias a medidas que impiden o retrasan el aumento de los niveles atmosféricos de los GEI (Trexler *et al.* 1995; Ciesla 1996, Fundación Solar 2000).

El manejo de bosques (naturales o plantaciones) ofrece la oportunidad de mitigar en parte los efectos del cambio climático, debido a que éstos absorben CO₂ de la atmósfera en el proceso de fotosíntesis (Brown 1996b; Ciesla 1996, Fundación Solar 2000). Para aumentar la capacidad de éstos en la mitigación del cambio climático es importante frenar la deforestación para reducir esa fuente tan importante de gas de efecto invernadero, mantener los depósitos de carbono actuales y aumentar las áreas sumideras (Brown 1996a; Brown *et al.* 1996; Ciesla 1996, Dixon *et al.* 1994).

Los árboles y los bosques son solo depósitos temporales de carbono ya que cuando éstos se cortan, se queman o se mueren, una parte del carbono es liberado nuevamente a la atmósfera (Brown 1996b; Ciesla 1996, Fundación Solar 2000). Por ejemplo, una enorme cantidad de madera se queda en el bosque después de su explotación hasta que se descomponen en forma de residuos (Oy 1986; Budowski 1998). Por lo tanto una opción para reducir las emisiones de carbono es reducir la cantidad de residuos durante el aprovechamiento forestal, a través de la retención adicional de carbono en la biomasa (Pinard y Putz 1996). Según un estudio de la FAO (Dykstra 1994 citado por Ciesla 1996) en la mayoría de países tropicales menos de un 50% de madera de los troncos de árboles talados es realmente utilizado, el resto son residuos de la explotación forestal.

En la zona de uso múltiple de la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala, está permitido el desarrollo de actividades económicas sustentables bien planificadas, que ayuden al mantenimiento de las condiciones naturales de las zonas núcleo y a la subsistencia económica de las comunidades ligadas a esta reserva (CONAP 1992). La principal actividad económica es el aprovechamiento de especies maderables a través del sistema de fijación de diámetro mínimo de corta y tala selectiva de especies comerciales. A partir de la entrega de la primera concesión forestal comunitaria en 1994 (Imbach y Gálvez 1999) se ha venido promoviendo el desarrollo de aprovechamientos forestales de tipo mejorado, pero aún así se produce una gran cantidad de residuos en relación a la madera útil, los cuales en su mayoría no son utilizados y son dejados en el campo, provocando su descomposición y la liberación del CO₂ que se encontraba fijado.

1.2. Justificación e importancia

La vegetación forestal mundial y el suelo bajo esta, contienen 359 y 797 Pg¹ de C, respectivamente (Dixon *et al.* 1994), por lo que son parte de las principales reservas de carbono del planeta Tierra y parte fundamental en ciclo global del carbono (Brown 1996b). El hombre puede, mediante la ordenación forestal, modificar la magnitud de las reservas de carbono e inducir cambios en la circulación (flujo) de este elemento, por lo que si el bosque sufre cambios, éstos se transforman en fuentes de CO₂ (Brown 1996b, Brown *et al.* 1996).

Los bosques tropicales son considerados por Brown (1996) como una fuente neta de carbono. Ya que para mediciones en el año 1990 estimó que estos emitían 1.6 ± 0.4 Pg/año, lo cual era en ese entonces un 30% de las emisiones anuales de CO₂ derivadas del empleo de combustible fósil. La causa de la pérdida neta de biomasa es la mortalidad de individuos, las altas tasas de cambio de uso de la tierra y a la alta producción de residuos durante los procesos del aprovechamiento forestal (Kyrklund 1991). Tradicionalmente, la explotación forestal en los trópicos es descuidada y degrada los bosques (Gerwing *et al.* 1996) por lo que es importante incentivar la mejora de las prácticas forestales.

En tal sentido, la importancia del presente estudio radica en que es necesaria la evaluación de la cantidad de residuos forestales en unidades de carbono, producidos durante los procesos de aprovechamiento (tradicional y mejorado) y aserrío (motosierra y aserradero), debido a que el desperdicio de una parte de la biomasa de la troza representa el fortalecimiento del proceso de calentamiento global al añadir dióxido de carbono a la atmósfera. Además, la evaluación es importante ya que al cuantificar la reducción de emisiones de carbono, por la disminución de residuos forestales, se tendrá una herramienta útil para promover el manejo forestal sostenible, como una alternativa para los bosques húmedos subtropicales de la Reserva de Biosfera "Maya", al mismo tiempo de generar información para futuros proyectos de mecanismos de desarrollo limpio.

¹ 1 Pg = 10¹⁵ g = 1 Gt

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar los procesos de aprovechamiento forestal (tradicional y mejorado) y aserrío forestal (motosierra y aserradero) en relación a la dinámica del carbono de los residuos producidos, en dos unidades de manejo en la Reserva de Biosfera "Maya", Petén, Guatemala.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar el volumen total de residuos que se producen bajo las diferentes condiciones de aprovechamiento y aserrío en la región de Petén, Guatemala.
- Cuantificar la dinámica del carbono, en los procesos de aprovechamiento forestal y aserrío de los bosques húmedos subtropicales de Petén, Guatemala.
- Establecer el efecto de reducción de residuos forestales sobre la dinámica del carbono, bajo diferentes procesos de aprovechamiento y aserrío forestal.

1.4. Hipótesis

- El volumen de residuos en los procesos de aprovechamiento y aserrío es superior al volumen de madera que se transforma en productos duraderos.
- Existen diferencias de pérdida de carbono por residuos forestales comparando diferentes escenarios.
- Se logra reducir la liberación de carbono a través del sistema de aprovechamiento mejorado y aserrío con aserradero, aplicando técnicas adecuadas y equipos modernos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La importancia del cambio climático

Desde hace unos 6,000 años, época cuando los glaciares estaban todavía retirándose, la Tierra entró en un período durante el cual las temperaturas medias eran las de hoy, alrededor de unos 15°C. Esta temperatura se ha mantenido gracias a los gases de efecto de invernadero (GEI) presentes en la atmósfera, ya que estos absorben las radiaciones térmicas emitidas por la tierra. Si no fuera por los GEI la temperatura media de la Tierra sería -18°C (Ciesla 1996).

A partir de la década de 1920 se empezó a dar un aumento constante de la temperatura de la superficie de la Tierra, aumentado 0.5°C para la década de los noventa y esperando un aumento de 4°C para el año 2100, si la tendencia continúa. Este aumento de temperatura es debido al aumento de la cantidad de gases de invernadero, ya que estos pueden influenciar las temperaturas mundiales. Si la concentración de gases aumenta, las temperaturas se elevarían, en cambio si disminuyen las temperaturas bajarían (Carson 1996). Otros cambios climáticos son la alteración de los patrones de lluvia, ocasionando sequías en algunas partes del mundo, lluvias excesivas en otras, tormentas y ciclones cada vez más violentos y frecuentes; mayor incidencia de plagas agrícolas y enfermedades humanas (Alatorre 1997). Para la región Centroamérica además de los cambios climáticos ya descritos se estima que el nivel de mar aumentará entre 2 y 10 cm por década y se aumentara las épocas de sequías principalmente en el sur de México y Guatemala (Fundación Solar 2000). Estos cambios climáticos implicaría graves cambios para las condiciones de vida del planeta (Carson 1996) lo que ocasionaría que algunos ecosistemas fueran incapaces de adaptarse (Alatorre 1997).

2.1.1. El CO₂ y el cambio climático

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto de invernadero (Ciesla 1996), el cual se ha estado incrementando en la atmósfera desde la revolución industrial a mediados del siglo XVIII (Trexler y Haugen 1995, Ciesla 1996, Eamus 1996). La concentración de CO₂ en la atmósfera es cerca de 358 ppmv², lo cual es 29% arriba de los niveles de la época preindustrial (Cannel 1996, Ciesla 1996). Anualmente los niveles aumentan en 1.8 ppmv, debido a las emisiones de los GEI asociados a las actividades industriales y cambio de uso de la tierra (Cannel 1996). Cannel (1996) estima que el 46% del CO₂ emitido permanece en la atmósfera. En términos de toneladas de carbono, Cannel (1996) estima que en la atmósfera existen 750 GtC, intercambiando aproximadamente 100 GtC con la superficie de la tierra y 90 GtC con los océanos. Trexler y Haugen (1995) estiman que para el año 1995 existían aproximadamente 200 Gt más de carbono que hace dos siglos.

² ppmv = partes por millón en base a volumen.

Las principales reservas de carbono en la tierra, son la atmósfera, los combustibles fósiles, los océanos, las biotas terrestres y los suelos (Brown 1996b), siendo las principales fuentes de emisión la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la quema de madera y de carbón vegetal (Dixon *et al.* 1994, Trexler y Haugen 1995, Ciesla 1996, Fundación Solar 2000). En la década de los 80 se estima que se produjeron 7 Gt de CO₂ anualmente de las cuales casi un 75-80% es de origen industrial (Ciesla 1996). En el año 1990 se estima que se liberaron 1.7 GtC a través de la deforestación en los trópicos (Dixon *et al.* 1994, Trexler y Haugen 1995).

2.1.2. Estrategias para controlar el cambio climático

La preocupación sobre el cambio climático ha existido desde hacia varios años, pero fue realmente a partir del año 1992, en Río de Janeiro cuando las naciones del mundo suscribieron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. En esta convención se llegaron a varios acuerdos como el de reducir los niveles de emisiones de gases de efecto de invernadero (Alatorre 1997). Hasta el año 2002 se han realizado nueve reuniones extras para discutir y analizar los avances y logros de la convención de 1992. Una de las más importantes fue la Tercera Conferencia de las Partes (COP-3) donde se firmó el Protocolo de Kyoto en diciembre de 1997 en Japón. El Protocolo de Kyoto incluye ciertas estrategias denominadas "mecanismos de flexibilidad" que incluye; el comercio de cuotas de emisión, la implementación conjunta y los mecanismos de desarrollo limpio (Alatorre 1997). Aunque estos mecanismos de flexibilidad solo pueden solucionar en parte el problema, lo ideal sería que todos los países redujeran sus emisiones de GEI, lo cual es difícil ya que las economías modernas se basan en el uso de combustibles fósiles (IISD 2001).

Las estrategias viables para responder al cambio climático se pueden separar en dos, adaptación y mitigación. Esta última trata de impedir o retrasar el aumento de las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto de invernadero (Ciesla 1996). Los bosques pueden ofrecer oportunidades para mitigar en parte los efectos previstos (Dixon *et al.* 1994, Trexler *et al.* 1995, Ciesla 1996, Fundación Solar 2000), ya que estos almacenan grandes cantidades de carbono atmosférico en la vegetación y en suelo (Brown 1996b). Los bosques se pueden utilizar reduciendo las fuentes de gases de efecto de invernadero (incendios, deforestación y residuos forestales), mantener los reservorios actuales y aumentar (en calidad y en cantidad) los sumideros de CO₂ (Dixon *et al.* 1994, Trexler *et al.* 1995, Brown 1996b, Ciesla 1996, Fundación Solar 2000).

Un acuerdo importante del Protocolo de Kyoto son los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), que son proyectos llevados a cabo entre los países industrializados y los países en vías de desarrollo, en los cuales los industrializados ofrecen una fuente de capital para financiar el desarrollo limpio y energético eficiente y para promover actividades para reducir la deforestación y la degradación de los bosques en países en vías de desarrollo. (Fundación Solar 2000).

En la sexta reunión de las partes (COP 6) en el 2001, perdió fuerza la idea de utilizar a los bosques como instrumentos para la mitigación para el primer período de compromiso (años 2008-2012) de las Partes (países Anexo I), quedando limitado para proyectos de forestación y reforestación. Estos últimos conceptos están basados en cambios de uso de la tierra y serían elegibles en proyectos de cambio de uso de la tierra y forestería bajo el esquema de MDL, cuyas políticas serían definidas en el COP 8 (IISD 2001). En la COP 7 realizada en el año 2002, se concretó que la admisibilidad de las actividades de proyectos de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura en el ámbito del MDL solo se limita a la forestación y reforestación. Además, que para el primer periodo de compromiso, el total de las adiciones a la cantidad atribuida de una parte derivadas de las actividades admisibles de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura en el MDL no podrá ser superior al 1% de las emisiones del año de base de esa parte, multiplicado por cinco (COP-7 2002). Estos acuerdos eliminan la posibilidad de los bosques naturales en formar parte de proyectos MDL, pero estos mismos acuerdos dejan abierta la posibilidad para el segundo periodo de cumplimiento (después del año 2012). Durante la COP-8 en el tercer trimestre del 2002, se discutieron las definiciones y modalidades para incluir actividades de proyectos de forestación y reforestación, teniendo en cuenta los aspectos de no permanencia, adicionalidad, fugas, incertidumbres y los efectos socioeconómicos ambientales, pero no se llegaron a acuerdos concretos sobre las definiciones y modalidad de los proyectos sumideros de acuerdo a MDL (IISD 2002).

Guatemala por ser un país no perteneciente al listado de Anexo I, puede participar en proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio, aunque anualmente se estima que se emiten más de siete millones de toneladas de CO₂, valor muy bajo comparado con los de países desarrollados (Fundación Solar 2000). Respecto a otros gases de efecto de invernadero, se estima que para 1990, Guatemala emitió alrededor de 200,000 toneladas de metano, 20,000 toneladas de óxido nítrico, casi un millón de toneladas de monóxido de carbono, alrededor de 100,000 toneladas de otros compuestos orgánicos diferentes al metano y 75,000 toneladas de dióxido de azufre. Pero también se estima que absorbió por medio de la cobertura boscosa y el suelo, alrededor de 40 millones de toneladas de dióxido de carbono, por lo que la absorción neta ascendió para ese año a 35 millones de toneladas (Ministerio de ambiente y recursos naturales, GT 2001). Dentro de la primera comunicación de Guatemala, sobre el cambio climático se considera como uno de las principales opciones de reducción de emisiones, el manejo y aumento de la cobertura boscosa.

2.2. El papel de los bosques en el cambio climático

Los bosques juegan un papel relevante en el ciclo global del carbono, ya que continuamente lo reciclan a través del proceso de fotosíntesis y lo liberan por respiración y descomposición (Kyrklund 1991, Dixon *et al.* 1994, Brown 1996b). Un buen porcentaje de carbono es almacenado por los árboles en los sistemas radiculares, follaje y principalmente en los tejidos de la madera (Cannel 1996, Ciesla 1996), convirtiéndolos en sumideros muy importantes por su gran tamaño y su longevidad (Ciesla 1996). El período de secuestro de carbono para un almacenaje neto en vegetación y suelo depende de la especie, condiciones de sitio, disturbio y prácticas de manejo (Dixon *et al.* 1994).

La vegetación forestal y el suelo contienen 359 y 797 Pg de C, respectivamente (Dixon *et al.* 1994, Trexler y Haugen 1995, Brown 1996b). La mayor parte de la reserva de carbono de la vegetación se halla en los bosques tropicales (62%) mientras que la reserva en los suelos forestales se concentra principalmente en los bosques boreales (54%) (Brown *et al.* 1996). Brown (1996b) estima que los bosques templados y boreales constituyen un sumidero neto de carbono ya que absorben aproximadamente 0.7 ± 0.2 Pg/año, mientras que los tropicales se consideran fuente neta de carbono ya que para 1990 emitieron 1.6 ± 0.4 Pg/año, debido principalmente a la deforestación, lo cual equivale a un 30% de las emisiones anuales de CO₂ derivadas del empleo de combustible fósil. Cada tonelada de materia en el tronco y en las ramas de los árboles contiene aproximadamente 50% de carbono, por lo que mientras más árboles, más secuestro de carbono habrá (Budowski 1998).

Las prácticas de ordenación forestal destinadas a reducir el cambio climático pueden agruparse en varias categorías, la ordenación para la conservación del carbono (conservación de biomasa, protección contra fuego), para su almacenamiento (plantaciones, tratamientos silviculturales, manejo forestal sostenible), la sustitución de carbono de fuentes energéticas no renovables, como el petróleo (Trexler 1995, Brown 1996b, Brown *et al.* 1996, Fundación Solar 2000) y la conversión de la madera con un mínimo de residuos en productos duraderos (Kyrklund 1991). Debido a la velocidad de absorción del CO₂, preservar intactos los bosques naturales es una manera poco eficaz de fijarlo, pero muy eficaz para evitar emisiones, pero industrializar todos los bosques del mundo no es factible desde el punto de vista de conservación del ecosistema, la estabilidad del ambiente y la ordenación de la biodiversidad (Kyrklund 1991, Brown 1996a). Pero el manejo forestal es una opción a corto plazo ya que a la vez que se secuestra, también se libera carbono (Brown 1996a), por lo que una de las formas más eficaces es fomentar la producción industrial de artículos de madera de larga duración (madera de construcción, ventanas, muebles) provenientes de bosques naturales y plantaciones (Binkley 1990, Kyrklund 1991, Brown *et al.* 1996, Pingoud *et al.* 1996) ya que estos son almacenes de carbono que pueden reemplazar metales, concreto, plástico y otros productos, cuya generación produce emisiones de GEI y requiere de mucha energía para su elaboración (Brown *et al.* 1996, Pingoud *et al.* 1996).

En el caso específico de la utilización de la madera como fuente de energía, no se produce un incremento en la cantidad de carbono almacenado en la madera ya que este es liberado, pero la ganancia está en que se evitan emisiones del carbono almacenado en combustible fósil no quemado (Brown *et al.* 1996).

2.3. Residuos durante el aprovechamiento forestal y aserrío

La ecuación general para el flujo atmosférico de carbono de los bosques aprovechados puede ser descrita como: el flujo neto de carbono a la atmósfera = emisiones de carbono asociado con el aprovechamiento y uso de la madera – secuestro de carbono durante la regeneración de los bosques aprovechados. Los flujos asociados con el aprovechamiento y uso de la madera incluye: las emisiones de carbono provenientes de la descomposición de los desperdicios dejados después del aprovechamiento, quema de leña y carbón, residuos en el procesamiento de la madera, decrecimiento del reservorio de productos de madera de larga vida útil y la inmediata oxidación de productos de corta duración (Winjum *et al.* 1998). Por lo tanto cuando los bosques son aprovechados, el carbono es transferido de los árboles vivos a los productos utilizables y no utilizables (Cannel 1996), por lo que el sistema de aprovechamiento e industria forestal debe ser más que conservación y utilización prudente del bosque.

Parte del carbono de los residuos forestales se integra a la materia orgánica de la que se componen los suelos forestales, donde dependiendo de las condiciones climáticas, puede permanecer por mucho tiempo. El restante es liberado como CO₂ o CH₄ a la atmósfera (Trexler y Haugen 1995, Ciesla 1996, Budowski 1998), degradando la calidad ambiental al sumar dióxido de carbono a la atmósfera. Además, porque al no ser aprovechados el consumo de madera rolliza para satisfacer la demanda, será mayor (Gerwing *et al.* 1996, Soto 1999). Es inevitable que el aprovechamiento forestal cause algún impacto al bosque por lo que el arte del buen manejo es reducir el impacto al mínimo (Vanclay 1992). Por lo tanto, el primer paso para la conservación y el uso sostenible del recurso bosque es reducir al mínimo los residuos forestales y los daños que causan un aumento de la mortalidad posterior del aprovechamiento.

La mayor parte de la madera útil obtenida de los aprovechamientos de bosques naturales tropicales es utilizada en productos de larga duración y no se transforman rápidamente en CO₂ atmosférico, mientras que una pequeña parte se degrada rápidamente, como por ejemplo el papel (Locatelli 1999). La madera procesada es clasificada en dos tipos, por su tiempo de vida: madera de productos de larga vida útil (>5 años) y productos de corta vida útil (< 5 años) como el papel (Winjum *et al.* 1998). La efectividad del secuestro de carbono en productos de larga duración, depende en parte del uso final de la madera producida. Sin embargo, el carbono guardado en la madera es obviamente no guardado permanentemente, por lo que tarde o temprano se liberará el carbono almacenado en forma de CO₂, principalmente (MacDicken 1997).

En los países tropicales, según un estudio de Dykstra (1994) citado por Ciesla (1996) menos de un 50% de la madera de troncos principales de árboles talados es utilizado, el resto y otras partes son dejadas como residuos. En los aserraderos la mayor parte de los residuos, como el aserrín, lepas y orillas, se acumula en los patios de aserrío, donde posteriormente se quema, liberando CO₂ al ambiente (Sandoval *et al.* 2000).

2.3.1. Descomposición de la madera

Los residuos que son dejados en el bosque luego del aprovechamiento pasan a formar la materia orgánica en los suelos. Esta se compone de raíces de plantas vivas, restos poco alterados de plantas muertas, resto de plantas descompuestas en parte, materia orgánica coloidal, microorganismos vivos y macroorganismos y materia orgánica inactiva o inerte (carbón, vegetación quemada, cenizas) (Locatelli 1999). El carbono orgánico del suelo representa la mayor reserva en interacción con la atmósfera, estimándose alcanza un valor de 797 Pg de C (Dixon *et al.* 1994), aunque existen otras estimaciones mas altas como la de Robert (2002) quien indica que a un metro de profundidad el contenido es de 1,500 Pg de C.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC 1996) considera que la madera puede descomponerse en un lapso de 10 años en los trópicos, a un ritmo de 10% anual. Para efecto de inventarios de GEI, este tipo de emisiones en el tiempo son denominadas "emisiones diferidas". Por otro lado la madera que es quemada, solo una pequeña parte (5-10%) se convierte en carbón vegetal, que resiste a la descomposición durante mas de 100 años y el resto se libera instantáneamente a la atmósfera en forma de CO₂. Además cuando la madera es quemada, se liberan pequeñas cantidades de otros GEI de mayor potencial de calentamiento global, como CH₄, CO, N₂O y NO_x los cuales son considerados como emisiones netas (IPCC 1996).

El bosque aprovechado no necesariamente resulta en un flujo neto hacia la atmósfera. Se puede producir un complejo diseño de flujos netos que cambian en dirección con el tiempo. Por ejemplo, si un bosque es aprovechado produciendo madera para productos y dejando residuos en el bosque; el flujo de CO₂ inicial de los productos de madera que se pudren rápidamente mas el incremento de la respiración del flujo asociado a la oxidación de los residuos, podría exceder el flujo de la atmósfera debido a la fotosíntesis, dando como resultado en un almacenamiento en la regeneración. Consecuentemente, hay un flujo neto de CO₂ del bosque, mantillo y suelo hacia la atmósfera, lo cual debería estar reflejado en las cuentas de carbono, ya que esta cantidad debería ser mayor que la cantidad en la vegetación joven y su suelo, y el almacenado en los productos de madera. Sin embargo, si algunos de los productos son de larga vida útil y si la regeneración ya llego a su estado original, la integración del flujo neto podría ser de la atmósfera hacia la biosfera terrestre dando como resultado el aumento del "stock" del carbono terrestre luego del aprovechamiento forestal (IPCC 1996b).

Cuando el bosque se aprovecha una porción de la biomasa (raíces, ramas, tallos y follaje) es dejada en el suelo, entrando en un proceso de descomposición. Frecuentemente una parte de la biomasa es atacada por termitas, emitiendo CH_4 y CO_2 como subproductos. Se estima que el 75% del carbono en descomposición es liberado por las termitas y de este 75% el 99.8% se produce en forma de CO_2 y el resto en forma de CH_4 (IPCC 1996b), gas de mayor potencial de calentamiento global.

El proceso de descomposición lleva en si tres etapas hasta obtener una materia orgánica estable (humus). El follaje, ramas, tallos y raíces son descompuestas por macro y microorganismos a tres compuestos principales, los componentes solubles (azúcares principalmente), holocelulosa y compuestos como la lignina, los cuales pueden ser descompuestos directamente por los microorganismos y liberar CO_2 . Una parte de los compuestos solubles y de la holocelulosa pasa al compartimiento de los compuestos como la lignina y de éste último, pasan al primer compartimiento de humus, el cual puede ser descompuesto y liberar CO_2 o pasar al segundo compartimiento de humus. De este segundo compartimiento, el carbono solo puede ser movido a la atmósfera en forma de CO_2 (Nabuurs *et al.* 2001).

La madera en el proceso de descomposición es afectada por diferentes elementos, siendo los principales la composición de los residuos, factores climáticos (condiciones de temperatura y humedad), las propiedades del suelo (textura, contenido y mineralogía de la arcilla, acidez) y las propiedades de los micro y macroorganismos del suelo (Robert 2002).

Chen *et al.* (2000) evaluando la descomposición de raíces de diámetros entre 1 a 3 cm de cinco especies de coníferas encontró que el punto donde se alcanza mayor velocidad de respiración relativa de descomposición es a los 40 grados centígrados. A partir de esta, la velocidad de descomposición decrece. Además, encontró que la humedad de la madera afecta también la velocidad de descomposición, a mayor humedad la tasa de respiración relativa de descomposición aumenta, hasta cierto límite. A una humedad del 30%³ alcanza su punto mínimo, ya que en este momento el agua generalmente no está disponible para la actividad metabólica de los organismos. El óptimo es entre 100 y 275% de humedad, decayendo a partir de estos valores, ya que se reduce la velocidad de difusión de oxígeno. La interacción de estos dos componentes (temperatura y humedad) indica que a menor contenido de humedad (< 75%), un aumento en la temperatura tiene pequeño efecto en la respiración, pero a contenidos de humedad mayores (100-200%), la respiración tiene mayores efectos por la variación de la temperatura. La velocidad de respiración fue estimada a partir de incubación de raíces y de la medición del incremento neto de la concentración de CO_2 durante un lapso de 4 horas.

³ Porcentaje de humedad en base seca

Los organismos presentes en el suelo o sobre la superficie de este no son todos productores de materia orgánica. Lo que indica que la cantidad de biomasa producida en algún sistema, o la cantidad de materia orgánica depositada y la subsiguiente incorporación en el suelo, depende de los tipos de organismos presentes y del balance entre las actividades de las especies sintetizadoras y descomponedoras (Hallsworth 1982, Malhi & Grace 2000).

En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa, se acumula en la fracción húmica estable (Robert 2002). Malhi y Grace (2000) indican que el tiempo de residencia de una molécula de carbono en la biomasa es de 16 años y en el suelo de 16 años, lo que da un total de 32 años, para que retorne a la atmósfera.

2.3.2. Modelos de operación de aprovechamientos forestales

Comúnmente para el aprovechamiento forestal se reconocen dos modelos de operación en términos generales, el convencional (también llamado tradicional o no planificado) y el mejorado (o planificado). Aunque es difícil separar hasta cuando un aprovechamiento es de tipo tradicional⁴, hay algunos aspectos muy importantes que pueden diferenciarlos.

El modelo tradicional de extracción consiste en una explotación desordenada del bosque en el cual los operadores de motosierra toman las decisiones de que árbol tumbar. Estos trabajadores apenas han recibido formación en corta de árboles y no saben nada de ordenación forestal o silvicultura y su jornal depende del volumen de troncos cortados. Se practica la "tala selectiva" explotando solo los mejores y mas valiosos árboles, dejando un bosque remanente degradado. En el proceso de arrastre, se utilizan maquinaria pesada para arrastrar y cargar las trozas, además el tractorista se abre paso con su maquina sin ninguna planificación destruyendo la masa boscosa. Además, bajo este modelo las técnicas de corta y aserrío son deficientes, ya que se dejan tocones muy altos (más aun si estos tienen gambas), no se tiene cuidado para evitar rajaduras con la caída y se trocea el árbol muy lejos de la copa (Méndez 1993, Gerwing 1996).

Un aprovechamiento mejorado en bosques húmedos tropicales incluye un inventario y una representación topográfica del rodal (Dykstra y Heinrich 1992, Castañeda *et al.* 1994, Ciesla 1996, Carrera *et al.* 1996, Gerwing 1996), marcación de individuos a cortar, semilleros y de remanencia (Carrera *et al.* 1996) corta de lianas y de plantas trepadoras, planificación y señalización de caminos y pistas de arrastre, tala dirigida, uso de un arrastrador con cable (Castañeda *et al.* 1994, Ciesla 1996, Carrera *et al.* 1996, Gerwing 1996), transito por las vías exclusivamente trazadas con anterioridad y con la pala levantada (Dykstra y Heinrich 1992, Castañeda *et al.* 1994, Carrera 1996).

⁴ De aquí en adelante, al metodo de aprovechamiento convencional se le denominara tradicional, por mejor conocimiento de este termino en la zona

Carrera (1996) agrega las operaciones de post-aprovechamiento como el muestreo diagnóstico, con la finalidad de determinar la necesidad de aplicar o no un tratamiento silvicultural, el cierre de caminos y el aprovechamiento de residuos (de ramas gruesas).

2.3.3. Estudios previos

En la Amazonía oriental, el aprovechamiento del bosque es una de las principales actividades productivas, pero se realiza de forma descuidada degradando los bosques. En una operación típica se extraen 30 a 50 m³/ha de 30 a 60 especies, dañándose aproximadamente el 26% de los árboles. En un estudio realizado por el Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazonia (IMAZON) evaluando una operación maderera tradicional en 75 ha contra una extracción de madera planificada en 100 ha, en Paragominas, Brasil; se encontró que los métodos de explotación tradicional (bosque y en aserraderos) desperdician innecesariamente grandes volúmenes de madera, ya que se dejan muchos troncos cortados abandonados y se dañan muchos árboles jóvenes. Por otro lado en el aserradero se produce una degradación de troncos durante el almacenamiento y espesor excesivo de la madera mal aserrada. Por ejemplo, de 854 árboles cortados en explotaciones tradicionales se provocó un desecho medio de 0.41 m³/árbol cortado, equivalente a un 7% de volumen de madera. Al comparar con un operador calificado, este solo ocasionó un desperdicio de 0.11 m³/árbol (Gerwing *et al.* 1996).

En las operaciones de la amazonía donde se hace una extracción selectiva, se cortan 5 o 6 árboles/ha pero por las técnicas utilizadas se dañan otros 200 árboles/ha mayores a 10 cm. En la transformación de los troncos en productos acabados, la eficiencia puede repercutir notablemente sobre la superficie forestal necesaria para satisfacer la demanda. Según un estudio en Paragominas, Brasil, de un tronco típico menos del 35% se transforma en madera aserrada, el resto constituye desperdicios que son fuentes netas de carbono. En el almacenamiento antes del aserrío se producen, también pérdidas de volumen y calidad (por la acción de insectos, rajaduras y hendiduras) ya que se produjeron pérdidas de alrededor del 15% (Gerwing *et al.* 1996). Binkley (1990) y Oy (1986) reporta también un valor de desperdicios de 75% de la madera del árbol en pie.

Johns *et al.* (1996) evaluando aprovechamientos planificados (mejorado) contra no planificados (tradicional) en la Amazonía Este del Brasil, reporta que en un aprovechamiento planificado el impacto por la tumba es menor que uno no planificado. El tamaño de un claro es de 355 m² (*d.e.*⁵=288 m², *n*=80) en un aprovechamiento tradicional mientras que para uno planificado este es de 166 m² (*d.e.*=118 m², *n*=108). También indica que el número de árboles dañados en la tumba es mayor en un aprovechamiento no planificado (28.7 vs. 20.5 individuos). El bulldozer en el aprovechamiento no planificado afectó cuatro veces más área que en uno planificado utilizando skkider.

⁵ d e. = desviación estándar.

En relación a caminos encontraron que para el aprovechamiento no planificado se abrieron 27.3 mt/ha mientras que en el planificado 22.6 mt/ha, el ancho promedio fue similar, de aproximadamente 3.6 metros.

En otro estudio realizado en los bosques de *Dipterocarpaceas* de Sabah, Malasia, Pinard (1994) citado por Ciesla (1996) evaluó los beneficios de mejorar las técnicas de explotación maderera. En estos bosques se extraen 15 árboles/ha de más de 60 cm dap, dañando a un 75% de la masa boscosa remanente. Antes de la explotación estos bosques contenían más de 330 ton C/ha, durante la explotación se extrajeron casi 80 ton C/ha. Esta investigación demostró que con la utilización de técnicas mejoradas de aprovechamiento, el daño a los rodales residuales puede ser reducido de un 40% a un 20%. Healey *et al.* (2000) citando al Sabah Forestry Department (1979), reporta que para estos bosques se extrae un promedio de 8 a 12 árboles/ha bajo un aprovechamiento de tipo tradicional o convencional, produciendo un volumen de madera entre 80 a 150 m³, donde aproximadamente 40-70% de los árboles residuales son dañados y entre el 17 y 30% del área aprovechada es recorrida por los bulldozers y dejados como espacios abiertos. Pinard y Putz (1996) indican que para estos tipos de bosque las áreas aprovechadas bajo técnicas mejoradas contienen 100 Mg/ha mas de biomasa que áreas aprovechadas convencionalmente después de un año del aprovechamiento.

Saravia Cruz (1995) evaluó el efecto del aprovechamiento forestal tradicional y del mejorado, sobre el estado de la población, en los bosques de la región Huetar Norte de Costa Rica, encontrado que en los aprovechamientos mejorados se ocasiona el menor impacto al bosque, ya que estos en promedio llegaron a afectar solamente el 28.6% del área boscosa total remanente, mientras que los aprovechamientos tradicionales afectan el 58.9% del área boscosa total. Esto significa que el aprovechamiento mejorado reduce en promedio este tipo de impacto en 48.5% comparado con el aprovechamiento tradicional.

Vargas (1991) citado por Méndez (1993) indica que entre el 41 al 56% del área aprovechada queda como claro luego de un aprovechamiento de tipo tradicional, en bosques de la Región Huetar Norte de Costa Rica.

2.3.4. Usos alternativos de los residuos de madera

Uno de los grandes cuestionamientos en el manejo forestal de bosques naturales tropicales, es el que hacer con los residuos forestales. Por ejemplo Abarca y Picado (1998) reportan que en solo el 18% de los aprovechamientos de bajo impacto en la Península de Osa, Costa Rica ejecutados durante 1997-1998, los residuos fueron aprovechados, debido a la tradición maderera de solo aprovechar el fuste.

Los usos principales de los residuos de los aprovechamientos forestales son para combustión (leña) o para pequeñas carpinterías. Uhl y Guimaraes (1989) proponen que los residuos producidos durante los aprovechamiento selectivos en la región de Paragominas, Brasil, sean transformados a carbón, por ejemplo

Los usos potenciales para residuos forestales pueden ser la fabricación de pequeños objetos o utensilios, tales como piezas para cocinas, cabos de herramientas, artículos deportivos, decorativos o de recreación; en la producción de chapas de partículas de diferentes composiciones; para camas de aviarios, corrales o establos; en la elaboración de compost como complementos orgánicos para el suelo; en la producción de fibras para diversos fines tales como chapas, aislamiento termo acústico o papel; en la producción de mulch; como energía de diversas formas tales como quema directa, briquetas de madera o carbón; o para la obtención de materia prima para la industria de tintas, barnices, adhesivos (Souza 1997).

En Cuba, se ha evaluado la biomasa forestal resultante del proceso de aserrado de la madera de coníferas (*Pinus caribaea*), fundamentalmente aserrín y corteza, la cual esta constituida por un material lignocelulósico compuesto entre el 60-70% de polisacáridos. Por lo tanto constituyen una fuente importante de sustratos orgánicos para organismos capaces de degradar la lignina y la celulosa, como por ejemplo el ganado vacuno o pollos. En este estudio realizado en la provincia de Pinar del Río, se estableció que los residuos (aserrín, orillas o costillas, corteza, viruta y leña) no eran almacenados en áreas especializadas, sino a la intemperie. De estos residuos la corteza y aserrín son los que poseen menos usos y tienen oportunidad de ser transformados por medio de prehidrólisis a un producto denominado "masa de madera sacrificada" que puede ser usado como suplemento alimenticio animal (Alvarez Godoy 1999).

Otros de los usos propuestos para los residuos, es utilizar las cenizas para aumentar el nivel de elementos nutritivos en el suelo, como enmienda alcalina y para mejorar la disponibilidad de fósforo en suelos ácidos con altos niveles de aluminio activo, además de aportar elementos nutritivos como Ca, K, P y Mg. El aserrín puede contribuir positivamente en el régimen de agua y de los elementos nutritivos en suelos de texturas extremas (arcillosos y arenosos), no obstante posee un bajo nivel de N. La corteza sirve, entre otros usos, para preparar sustratos de excelentes características para la producción de plantas (Grez y Gerding 1997).

Es importante buscarle usos a los residuos forestales o disminuir la cantidad (mejorando la eficiencia) ya que aprovechándolos se aumenta la posibilidad de reducir los cambios de uso de la tierra, fuegos forestales y otras formas de degradación (Pinard y Putz 1996).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Esquema general

En el cuadro 1, se presenta el resumen de la metodología de trabajo, el tipo de análisis realizado y los resultados a partir de los objetivos propuestos.

Cuadro 1. Etapas metodológicas y resultados del estudio.

OBJETIVO ESPECIFICO 1. Cuantificar el volumen total de residuos que se producen bajo las diferentes condiciones de aprovechamiento y aserrío en la región de Petén, Guatemala.		
METODOLOGIA	ANALISIS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Visita a instituciones relacionadas al manejo forestal en Petén • Recuperación de informes de rendimiento de aprovechamiento y aserrío • Selección, medición y tumba de individuos • Cubicación de tocón, fuste y ramas hasta 2 cm • Evaluación de masa remanente dañada y área impactada por caminos y bacardillas • Estimación de desperdicios en aserrío 	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva • Pruebas de normalidad, T de diferencia de medias • Análisis de correlación y regresión • Graficas de relación 	<ul style="list-style-type: none"> • Desperdicios (m^3/ha) para aprovechamiento • Desperdicios (m^3/ha) para aserrío con aserradero y motosierra • Ecuación para estimar volumen de desperdicios en campo • Ecuación para estimar volumen de desperdicios en aserrío
OBJETIVO ESPECIFICO 2. Cuantificar la dinámica del carbono, en los procesos de aprovechamiento forestal y aserrío de los bosques húmedos subtropicales de Petén, Guatemala.		
METODOLOGIA	ANALISIS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Calculo de desperdicios totales por el aprovechamiento y aserrío (del objetivo específico 1) • Determinar la densidad de las especies y contenido de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Graficas 	<ul style="list-style-type: none"> • Desperdicios (ton C/ha) para aprovechamiento • Desperdicios (ton C/ha) para aserrío con aserradero y motosierra • Flujograma de pérdidas de carbono durante el aprovechamiento forestal
OBJETIVO ESPECIFICO 3. Establecer el efecto de reducción de residuos forestales sobre la dinámica del carbono, bajo diferentes procesos de aprovechamiento y aserrío forestal.		
METODOLOGIA	ANALISIS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de escenario de aprovechamiento forestal mejorado y aserrío con aserradero • Construcción de escenario de aprovechamiento forestal tradicional y aserrío con motosierra • Construcción de escenario de aprovechamiento forestal tradicional y aserrío con aserradero • Construcción de escenario de aprovechamiento mejorado y aserrío con motosierra 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaciones graficas 	<ul style="list-style-type: none"> • Escenarios desarrollados • Ganancia en almacenamiento de carbono por reducción de la producción de residuos y uso en productos de larga vida útil

3.2. Localización del área de estudio

El área de estudio se circunscribió a aprovechamientos que se realizaron en el año 2002 en dos unidades de manejo (UM) de la Zona de Uso Múltiple de la Reserva de Biosfera Maya, al norte del departamento de Petén, Guatemala. Estas son las unidades de manejo "Uaxactún", ubicada al norte del Parque Nacional Tikal (Anexo 1), en jurisdicción municipal de Flores, a 596 kilómetros de Ciudad de Guatemala (Bámaca 2000); y la unidad de manejo "Río Chanchich", en jurisdicción municipal de Melchor de Mencos (Anexo 1), a 658 kilómetros de Ciudad de Guatemala (SCIS/NPV 2000).

La UM Uaxactún, tiene una extensión de 83,558 ha (CONAP y CATIE/CONAP 1996). Esta fue entregada en concesión a la sociedad civil "Organización, Manejo y Conservación" (OMYC), por un tiempo de 25 años a partir del año 2000. La UM Río Chanchich fue entregada en concesión a la sociedad civil "Impulsores Suchitecos" (SCIS) por 25 años a partir del año 1998. Cuenta con una extensión de 12,173 ha (SCIS/NPV 2000).

3.2.1. Características biogeográficas

Las unidades de manejo se ubican dentro de la zona de vida "Bosque Húmedo Subtropical Cálido" (bh-St(c)), con una precipitación media anual de 1530 mm entre los meses de junio a octubre, y una estación seca con lluvias ocasionales en el resto del año. La temperatura oscila entre una máxima de 32°C y una mínima de 20°C, con una media de 25°C. La humedad relativa media es de 77% y la evapotranspiración de 79.8 mm (UNEPET 1991).

La UM Uaxactún posee elevaciones que varían entre 150 a 400 msnm, un 64% del área presenta un relieve plano a ligeramente ondulado y un 36% posee un relieve desde ondulado a escarpado. La mayoría de los suelos son poco profundos, bien drenados y aptos para el uso forestal (Marroquín 1995). El 97.82% de la unidad de manejo tiene cubierta forestal, siendo las especies más importantes, según el Índice de Valor de Importancia (IVI) a partir de 10 cm dap *Brosimum costaricanum*, *Manilkara zapota* y *Pouteria reticulata*. A partir de 10 cm dap se han reportado 166 especies arbóreas en Uaxactún, un número promedio de 477 individuos/ha, un área basal de 20.54 m²/ha (≥ 10 cm dap) y un volumen de 26 m³/ha (≥ 25 cm dap) (Bámaca 2000).

La unidad de manejo "Río Chanchich" presenta un relieve variable resultante de diferencias de alturas de hasta 160 m (SCIS/NPV 2000). Los suelos son poco profundos bien drenados, que descansan sobre un material paretal de roca caliza (Simmons *et al.* 1959). El 100% de la unidad de manejo posee cobertura forestal, con una abundancia de 131 especies vegetales (≥ 10 cm dap). Las variables dasométricas de "Río Chanchich" son 587 individuos/ha (≥ 10 cm dap), 21.8 m²/ha de área basal (≥ 10 cm dap) y un volumen de 26 m³/ha (≥ 25 cm dap). Las especies más importantes según el Índice de Valor de Importancia son *Manilkara zapota*, *Calophyllum brasiliense* y *Pouteria amigdalina* (SCIS/NPV 2000).

3.2.2. Condiciones socioeconómicas

La sociedad civil OMYC (concesionaria de la UM Uaxactún) esta conformada por residentes de la Aldea "Uaxactún", ubicada dentro de la misma unidad de manejo (Bámaca 2000), en la cual residen 690 personas divididas en 138 familias (Bámaca 1999). El 95% del total de familias residen en viviendas rústicas, fabricadas con materiales propios del área (Soria y Bámaca 1999) y no poseen servicios básicos (energía eléctrica y agua potable). La comunidad cuenta con una escuela primaria, una farmacia comunal, un centro de salud, iglesia católica, iglesia evangélica y una vía de acceso en mal estado (Bámaca 1999).

Las principales actividades productivas de los pobladores de "Uaxactún" son la extracción de productos no maderables, principalmente hojas de *Chamaedorea*. Otras actividades productivas son la cosecha del fruto de *Pimenta dioica*, extracción de látex de *Manilkara zapota* y la elaboración de artesanías (Bámaca 1999). Desde el año 2,000 realizan operaciones forestales (Bámaca 2000).

La sociedad civil "Impulsores Suchitecos" (SCIS) concesionarios de la UM Río Chanchich, esta conformada por 28 socios, todos residentes en la cabecera municipal de Melchor de Mencos y en aldeas cercanas (SCIS/NPV 2000). La principal actividad productiva es la extracción de productos maderables, su industrialización y en menor grado las actividades agrícolas y pecuarias (Martínez 1999). La unidad de manejo "Río Chanchich" fue la segunda concesión forestal comunitaria otorgada por el Consejo Nacional de Guatemala (CONAP) y esta realizando operaciones forestales desde el año 1998 (SCIS/NPV 2000).

3.3. Definición de la población y tipo de muestreo utilizado

Con el propósito de determinar la cantidad de desperdicios forestales provocados por el aprovechamiento y aserrío forestal, se seleccionaron dos unidades de manejo de la Reserva de Biosfera "Maya", siendo estas la UM "Río Chanchich" e UM "Uaxactún". La población en estudio fueron los árboles a extraer de las áreas de corta 2,002 de ambas concesiones. El tipo de muestreo utilizado para definir las unidades de observación fue el Muestreo Aleatorio Simple de los individuos a cortar, ponderado por la abundancia por especie.

3.4. Recolección de datos

Para la cuantificación de la producción de residuos bajo los sistemas de aprovechamiento tradicional y mejorado se recurrió a dos estrategias diferentes, debido a que en la actualidad en la zona de la Reserva de Biosfera "Maya", el Gobierno no permite la utilización del bosque bajo sistemas tradicionales.

3.4.1. Aprovechamiento mejorado

La estrategia para cuantificar la pérdida por residuos por tecnologías mejoradas de aprovechamiento fue la toma de datos directamente en el campo. A partir de los Planes Operativos Anuales de las dos unidades de manejo (cuadro 2), se seleccionaron 57 individuos en la UM Río Chanchich (4.51%) de 10 especies con dap entre 50 y 135 cm (promedio 69.05 cm) y 50 individuos de la UM Uaxactún (18.52%) de 4 especies con dap entre 50 y 140 cm (promedio 64.32 cm).

Cuadro 2. Información general de los Planes Operativos Anuales 2002 y de la muestra de las unidades de manejo en estudio.

Nombre Científico	Nombre común	TOTALES				MUESTRA	
		Río Chanchich		Uaxactún		Río Chanchich	Uaxactún
		No.	AB (m ²)	No.	AB (m ²)	Ind (%*)	Ind (%*)
<i>Aspidosperma cruentum</i>	Malerio colorado	8	1 6428	--	--	sm**	--
<i>Aspidosperma megalocarpom</i>	Malerio blanco	11	2 7472	--	--	1 (1.8)	--
<i>Astronium graveolens</i>	Jobillo	3	0 6539	--	--	sm	--
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón	3	0 7234	--	--	3 (5.3)	--
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Santa maria	673	189 7961	30	8 2593	28 (49.1)	6 (12)
<i>Cedrella odorata</i>	Cedro	15	9 9645	35	19 0922	sm	6 (12)
<i>Dendropanax arboreum</i>	Mano de León	91	26 7408	--	--	4 (7.0)	--
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Manchiche	62	17 9332	113	32 5662	2 (3.5)	21 (42)
<i>Lysiloma spp.</i>	Gesmo	38	10 9013	--	--	2 (3.5)	--
<i>Metopium brownei</i>	Chechen negro	26	6 7140	--	--	sm	--
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Amapola	5	2 8215	--	--	sm	--
<i>Swartzia cubensis</i>	Catalox	10	2 6310	--	--	sm	--
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	200	104 4461	92	46 5364	12 (21.1)	17 (34)
<i>Terminalia amazonia</i>	Canxan	56	14 5097	--	--	2 (3.5)	--
<i>Vatairea lundellii</i>	Danto	45	13 1619	--	--	2 (3.5)	--
<i>Vochysia hondurensis</i>	San Juan	17	4 4740	--	--	1 (1.8)	--
TOTALES		1263	409.8705	270	106.4492	57 (100)	50 (100)

* Porcentaje en base al total de la muestra

** sm= sin muestra

Se esperó a que los árboles seleccionados fueron tumbados y despuntados por trabajadores de las sociedades civiles encargadas de las unidades de manejo. Posteriormente, los individuos fueron cubicados en campo, distinguiendo los componentes: tocón, fuste comercial, fuste no comercial, ramas hasta 20 cm, ramas entre 19.9 y 10 cm, y ramas entre 9.9 y 2 cm.

Para determinar el volumen de madera desperdiciada en tocones se utilizó la fórmula del neiloide truncado (Prodan *et al.* 1997), la cual se describe a continuación:

$$V = \frac{\pi * l * \left(\frac{d_b + \sqrt[3]{d_b^4 d_s^2 + \sqrt[3]{d_b^2 d_s^4 + d_s^2}}}{4} \right)}{4} \quad [\text{Ec.1}]$$

Donde:

l = altura promedio del tocón (4 o 5 lecturas)

d_b = diámetro basal promedio (superficie del suelo) (4 o 5 lecturas)

d_s = diámetro superior promedio (4 o 5 lecturas)

Además, se pesaron los bocados resultantes por la tumba con la ayuda de una balanza tipo romana, para obtener el volumen total del tocón. El material pesado fue multiplicado por la densidad de la especie para transformar a volumen.

Para el fuste comercial, fuste no comercial y ramas > 20 cm de grosor, se utilizó la fórmula de Smalian, que es la fórmula que utiliza el Consejo Nacional de áreas Protegidas (CONAP) para estimar volumen. Para el fuste comercial, se consideró secciones de dos metros de largo, mientras que para el fuste no comercial y ramas > 20 cm, no importaba el largo, toda vez, fuesen secciones rectas. El punto que separa de fuste comercial a no comercial queda a criterio del tumbador.

Regularmente es el sitio donde empiezan las ramas, pero depende también de la calidad fitosanitaria del fuste y del diámetro menor apto para el aserrío. La fórmula de Smalian o de áreas transversales (Prodan *et al.* 1997) se expresa por la siguiente ecuación:

$$V = (B + b)/2 * L = \pi/4 * (D^2 + d^2)/2 * L \quad [\text{Ec.2}]$$

Donde:

- V = volumen bruto de la troza, en metros cúbicos
- B = área de la sección mayor de la troza (m²)
- D = diámetro de la sección mayor de la troza (m)
- b = área de la sección menor de la troza (m²)
- d = diámetro de la sección menor de la troza (m)
- L = longitud de la troza (m)

Para estimar el volumen de ramas con grosor entre 2y 19.9 cm, fueron separadas de las hojas y ramas menores de 2 cm y clasificadas por grupos de grosor. Uno de ellos de ramas entre 10 y 19.9 cm y el otro entre 2 y 9.9 cm. Para esto se seleccionó una submuestra de la muestra original del 30% (cuadro 3). Las ramas fueron cortadas procurando secciones rectas no mayores a un metro de largo. Se cubicaron las secciones, midiendo el diámetro al centro y su largo, además fueron apiladas para obtener el espacio poroso en relación a un metro stereo. El volumen para cada grupo de ramas fue obtenido por la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \sum_i dia_i^2 * 0.7854 * L_i \quad [\text{Ec.3}]$$

Donde:

- Dia_i = diámetro al centro de la sección *i* en metros
- L = largo de la sección *i* en metros
- i* = 1,2,3,4,..., *n*

Para evaluar la efectividad de utilizar metro stereo, la muestra seleccionada fue dividida en dos, una para encontrar el volumen real de madera en un metro stereo y la segunda para comparar este valor, con el volumen real de ramas.

Cuadro 3. Individuos seleccionados para la estimación del volumen de ramas menores de 20 cm de grosor.

Nombre Científico	Nombre común	Rio Chanchich		Uaxactún	
		No.	%*	No.	%*
<i>Aspidosperma megalocarpom</i>	Malerio blanco	1	5.9	6	40.0
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Santa maría	7	41.2	2	13.3
<i>Cedrella odorata</i>	Cedro	—	—	2	13.3
<i>Dendropanax arboreum</i>	Mano de León	1	5.9	—	—
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Manchiche	1	5.9	—	—
<i>Lysiloma spp.</i>	Gesmo	1	5.9	—	—
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	3	17.6	5	33.3
<i>Terminalia amazonia</i>	Canxan	1	5.9	—	—
<i>Vatairea lundellii</i>	Danto	1	5.9	—	—
<i>Vochysia hondurensis</i>	San Juan	1	5.9	—	—
TOTALES		17	100	15	100

* Porcentaje en relación a la muestra original.

Para estimar el volumen de desperdicios resultado por la tumba y por el arrastre se utilizó nuevamente la muestra seleccionada (cuadro 2). En el caso de los sitios de tumba no se consideró solamente el área de claro sino el área impactada, por lo que se consideraron individuos fuera del claro que estuvieran dañados a partir de 5 cm dap. Los datos recopilados fueron especie, dap e intensidad de daño. La escala de intensidad de daño fue:

1. Sin daño.
2. Levemente dañado: daños menores en copa o fuste.
3. Severamente dañado: árboles con daños severos en fuste o copa, pero con probabilidad de reponerse.
4. Muy severamente dañado: árboles con daños muy fuertes en el fuste o con la mayoría de la copa dañada. Su oportunidad de recuperarse es escasa. Se consideraron como muertos en los análisis.
5. Derribado y descopado: individuos que resultaron aplastados durante la caída de árboles comerciales o la copa les fue completamente quebrada.

Para las vías de arrastre, se levantó información en parcelas de 25 metros de largo, por el ancho de la vía. Las parcelas estaban ubicadas en los primeros metros de los wines de los árboles seleccionados para el estudio. Se censo los individuos derribados y muertos por la acción del arrastre, tomándoles especie y dap. En el caso de los caminos principales, estos fueron medidos (longitud y ancho) en su totalidad luego de su apertura.

Otro sitio donde se remueve completamente el bosque es en las "bacadillas" (centros de acopio de trozas, antes de ser transportadas al aserradero), que son de aproximadamente 0.25 ha. Para estimar el volumen de desperdicios de madera, se realizaron censos antes de la apertura de estas en toda el área delimitada (50*50 m) y posteriormente (luego de la apertura), se les midió correctamente su área, para poder estimar el volumen removido a través de la relación con área. En Río Chanchich se abrieron cuatro bacadillas, mientras que en Uaxactún, tres. Se midieron todos los individuos a partir de 10 cm dap en toda el área y en cinco secciones (ubicadas 4 en los extremos y una en el centro del área de 50*50 m), a partir de 5 cm dap.

3.4.2. Aserrío con aserradero

Debido a que es muy difícil realizar una medición directa de los residuos que se generan en un aserradero, se utilizó un método indirecto de medición. Los tipos de residuos que se tomaron en cuenta son: las lepas (secciones de troza que quedan una vez hecho el escuadrado de la misma), el aserrín (material que se produce en cada uno de los cortes durante el proceso de aserrío), orillas (producidas durante el escuadrado lateral de las tablas) y otros como las secciones de piezas que presentan daños por rajaduras, huecos u otros defectos.

Por motivos de falta de tiempo en la etapa de campo y atrasos de parte de las sociedades civiles, solamente se obtuvo una muestra en el aserradero de la sociedad civil "Impulsores Suchitecos". Se tomaron 95 trozas seleccionadas al azar, 92.6% pertenecientes a la especie *Swietenia macrophylla*, 4.2% a la especie *Dendropanax arboreum* y 3.2% a *Calophyllum brasiliense*. Cada troza fue cubicada a través de la fórmula de Smalian (ecuación 2) antes del ingreso al aserradero.

A cada sección obtenida luego de cada corte se le midió el ancho de corte, ancho útil, largo y grosor. El volumen de aserrín se obtuvo tanto para el aserrío principal como para el desorillado utilizando la siguiente ecuación:

$$As = \sum (L * Dsp * Ap) \quad [Ec.4]$$

Donde:

As = volumen de aserrín

L = longitud de la sección (m)

Dps = ancho del diente de la sierra (principal o desorilladora) (m)

Ap = ancho de la sección (m)

El volumen de lepas y orillas se consideró como de un solo tipo. La estimación del volumen de estos residuos se realizó por diferencia, sustrayendo al volumen de la troza, el volumen de aserrín y el volumen de madera aserrada (Soto 1999). Estos cálculos fueron dados por la siguiente fórmula:

$$Rs = Vt - (As + Ma) \quad [Ec.5]$$

Donde :

Rs = volumen de lepas y orillas

Vt = volumen de la troza

As = volumen de aserrín

Ma = volumen de madera aserrada.

El volumen de madera aserrada, corresponde a la que se obtiene luego del desorillado ya que no fue posible obtener el volumen final (luego del despunte y clasificación). Para tal caso se buscó información en literatura.

3.4.3. Aprovechamiento tradicional y aserrío con motosierra

Para este caso se realizaron visitas a diferentes instituciones como el Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP) (ente del Gobierno encargado de las Areas Protegidas), Instituto Nacional de Bosques (INAB), ONG's locales e internacionales que han trabajado con las comunidades, al Centro Universitario del Petén y con las propias comunidades, con el propósito de obtener información sobre este sistema de aprovechamiento, enfocado a rendimientos de producción y/o estimación de desperdicios. La información se utilizó con el fin de establecer límites validos para los escenarios construidos.

3.4.4. Estimación del carbono contenido por los residuos

Los residuos producidos durante los procesos de aprovechamiento y aserrío fueron valorados en unidades de carbono, debido a que estos se descomponen y el carbono almacenado es liberado a la atmósfera. Para esto, primero se estimó la cantidad de biomasa seca que corresponde a un volumen dado de residuos aplicando la siguiente relación:

$$BT = Vt (m^3) * PEB \quad [Ec.6]$$

Donde:

BT = biomasa seca total

Vt = volumen total de residuos

PEB = peso específico básico en (ton/m³)⁶ de cada especie

Las densidades o peso básico utilizados fueron obtenidas de la bibliografía y se presentan en el cuadro 4. El criterio para seleccionar las densidades, fue la media de las reportadas, la moda y/o los promedios manejados para Guatemala.

Cuadro 4. Densidades o peso básico de algunas especies maderables del Petén.

Nombre científico	Nombre Común	Densidades reportadas (ton/m ³) <i>Entre paréntesis literatura consultada</i>	Densidad utilizada (ton/m ³)
<i>Aspidosperma cruentum</i>	Malerio colorado	0.78 (g)	0.78
<i>Aspidosperma megalocarpom</i>	Malerio blanco	0.88 (f)	0.88
<i>Astronium graveolens</i>	Jobillo	0.70-0.76 (g), 0.73 (f), 0.75 (d)	0.73
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón	0.73 (g), 0.75 (b)	0.75
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Santa María	0.47 (d), 0.52 (f), 0.49 (i), 0.47 (c), 0.55 (h)	0.52
<i>Cedrella odorata</i>	Cedro	0.33 (f), 0.36 (i), 0.43 (c)	0.43
<i>Dendropanax arboreum</i>	Mano de León	0.41 (f), 0.41 (c)	0.41
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	Manchiche	0.86 (e)	0.86
<i>Lysiloma spp.</i>	Gesmo	0.73 (a)	0.73
<i>Metopium brownei</i>	Chechen negro	Sin información	0.62*
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Amapola	0.29 (g)	0.29
<i>Swartzia cubensis</i>	Catalox	0.86 (g)	0.86
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	0.45 (f), 0.46 (i), 0.45 (c)	0.45
<i>Terminalia amazonia</i>	Canxan	0.68 (d), 0.66 (f), 0.52 (i), 0.68 (c)	0.68
<i>Vatairea lundellii</i>	Danto	0.55 (f), 0.64 (i), 0.55 (c)	0.55
<i>Vochysia hondurensis</i>	San Juan	0.34 (f), 0.35 (c), 0.42 (i)	0.35

(a) Arreaga 2002 (b) Benedetti Isidore & Sibille Martina 1997 (c) Carpio Malavassi 1992 (d) Carpio Malavassi *et al.* 1996 (e) Echenique Manrique 1990 (f) Herrera Alegría y Morales Vargas 1993 (g) Kukachka 1968 (h) Lopez *et al.* 1987 (i) Ramos Benítez & Montesinos Lagos 1988

* Promedio de todas las especies

La biomasa seca total fue convertida en unidades de carbono, utilizando el factor de conversión de biomasa a carbono (FCC), que recomienda el IPCC (1996b) que es de 0.50. La ecuación utilizada se describe a continuación:

$$CC = BT * FCC \quad [Ec.7]$$

Donde:

CC = Contenido de carbono (ton)

BT = Biomasa total (ton)

FCC = Factor de conversión a carbono

⁶ El peso específico utilizado correspondió a cada una de las especies analizadas.

3.5. Análisis de datos

Se realizaron análisis de correlación y regresión, relacionando variables dasométricas (como el dap y la altura) y la cantidad de desperdicios para ambos sistemas de aprovechamiento, además entre las diferentes variables evaluadas. Se eliminó datos extremos o atípicos para no perjudicar las ecuaciones. Los criterios para seleccionar ecuaciones de regresión fueron:

- a. Lógica y simplicidad del modelo
- b. Coeficiente de determinación (R^2)
- c. Coeficiente de variación (CV%)
- d. Análisis de variancia
- e. Supuestos de normalidad

Con la información obtenida para el aprovechamiento y aserrío mejorado, se utilizó estadística descriptiva (medidas de tendencia central y de dispersión) para describir el conjunto de datos, de las dos unidades de manejo estudiadas.

Para los dos sistemas de aprovechamiento y aserrío (tradicional y mejorado) se construyeron gráficas que relacionaron la pérdida de carbono por actividad forestal.

3.6. Elaboración de escenarios

A partir de la información recuperada y generada, se construyeron cuatro escenarios, para los bosques de la Zona de Uso Múltiple de la Reserva de Biosfera "Maya", describiendo los procesos que involucran y los rendimientos de operación y cantidades de desperdicios en unidades de volumen y en unidades de carbono. Los cuatro escenarios son:

- a. Aprovechamiento mejorado y aserrío con aserradero.
- b. Aprovechamiento tradicional y aserrío con motosierra.
- c. Aprovechamiento tradicional y aserrío con aserradero
- d. Aprovechamiento mejorado y aserrío con motosierra.

Para el primer escenario se utilizó la información recopilada en campo y se extrapolo a toda el área de aprovechamiento de las unidades de manejo seleccionadas. La información a pesar que se recopiló en dos unidades de manejo, se integró como si fuese una sola muestra para tener mayor cantidad de datos y poder obtener resultados promedio, para condiciones diferentes.

Para el segundo escenario se analizó la información recopilada en la visita a las instituciones y se le aplicó a las bases de datos de los aprovechamientos de las unidades de manejo seleccionadas para poderlas comparar con el escenario uno. El tercer y cuarto escenario son una combinación entre los escenarios uno y dos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Residuos producidos en campo por los árboles estudiados

Las actividades de tumba en los aprovechamientos forestales producen dos tipos de residuos forestales: a) La madera no utilizable de los individuos tumbados y b) La madera dañada de otros individuos afectados por la caída.

4.1.1. Volumen total por individuo

Los individuos en estudio tienen un volumen de madera promedio (tocón, fuste y ramas hasta 2 cm de diámetro) de 6.237 m^3 ($d.e.=1.936 \text{ m}^3$, $n=29$), lo cual equivale a 3.6 ton de biomasa por individuo (dap promedio de 65.6 cm, densidad promedio utilizada = 0.576 ton/m^3). El volumen total de madera (útil y no útil) presenta una correlación aceptable con la variable dap ($r=0.91$, $Pr>r<0.0001$) por lo que se desarrolló la ecuación presentada en la figura 1, la cual tiene un valor de R^2 de 0.80 ($CV=13.98 \%$, $n=29$), la cual se ajusta principalmente a árboles comerciales entre diámetros de 50 a 100 cm. Se utiliza una ecuación de tipo cuadrática por la relación que mantiene el volumen con el área basal.

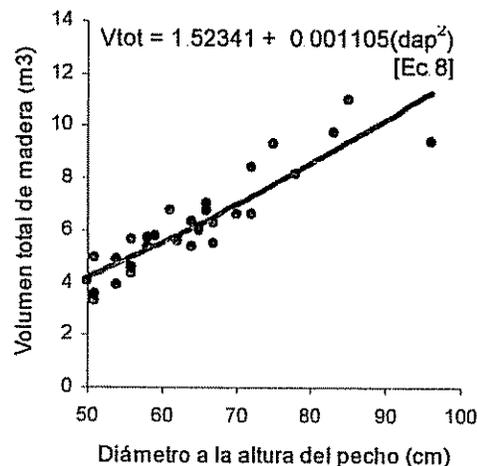


Figura 1. Relación entre dap y el volumen total de madera.

4.1.2. Residuos por individuo

El volumen de madera no utilizable de los individuos tumbados, depende de la utilización o no de ramas de diámetros mayores. Para el caso de las dos unidades de manejo evaluadas, para el año 2,002 en específico, no se utilizaron, debido a la falta de tiempo y/o de recursos y a la poca rentabilidad de su aprovechamiento.

En los aprovechamientos forestales de las UM Río Chanchich y Uaxactún se produce un volumen promedio de 3.054 m^3 ($d.e.=1.213 \text{ m}^3$, $n=30$) de residuos por cada árbol aprovechado, equivalente al 46.57 % ($d.e.=9.934 \%$, $n=30$). Gretzinger *et al.* (1993) entrevistando a la industria maderera del Petén, calcularon que aproximadamente se deja el 50% del árbol como residuos en ramas, trozas de diámetros pequeños y trozas con defectos; valor muy similar al encontrado en este estudio, aunque estos últimos no mencionan hasta que grosor de ramas fue considerado.

Se encontró que existe una correlación aceptable entre el volumen total de residuos por individuo en campo con la variable dap ($r=0.79$, $Pr>r<0.0001$). Se probaron diferentes modelos de regresión siendo el que mejor ajustó el presentado en la figura 2a, el cual tiene un valor de R^2 de 0.64 ($C.V.=24.09\%$, $n=30$), ajustándose principalmente a individuos entre dap de 50 y 100 cm, fuera de ese rango se recomienda no utilizar la ecuación. También se encontró que el volumen de residuos se correlaciona positivamente con el volumen total del individuo ($r=0.844$, $Pr>r<0.0001$, $n=29$, figura 2b).

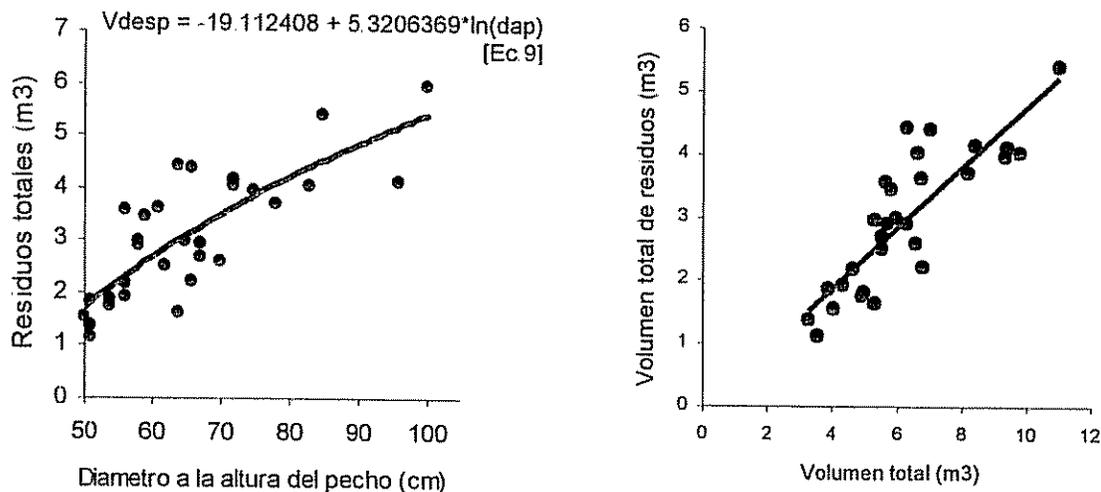


Figura 2. a) Relación del volumen de residuos por individuo con el diámetro a la altura del pecho
b) Relación del volumen de residuos con el volumen total por individuo.

4.1.2.1. Tocones

El volumen de madera que queda en los tocones luego del aprovechamiento forestal sobre el suelo es de $0.481 \text{ m}^3/\text{ind}$ ($d.e.=0.592 \text{ m}^3$, $n=101$), valor que depende principalmente del diámetro a la altura del suelo y de corte, y a la altura de corte. No existen diferencias significativas para la altura de corte de tocón entre las dos unidades de manejo evaluadas ($T \text{ Student}=1.43$, $Pr>t=0.1567$, $gl=100$), siendo el promedio de 0.38 m ($d.e.=0.187 \text{ m}$, $n=102$). El porcentaje de madera que corresponde al tocón por individuo es del 6 % ($d.e.=3.417 \%$, $n=31$), que se queda en el bosque, como residuo.

El volumen del tocón está altamente correlacionado con la variable diámetro a la altura del pecho ($r=0.80$, $Pr>r<0.0001$). La ecuación que mejor relacionó estas dos variables se presenta en la figura 3, la cual tiene un valor de $R^2=0.706$ ($CV=67.15\%$, $n=101$) y puede ser usada en el caso de necesitar estimar el volumen del tocón, antes de la tumba. Lógicamente, si la altura de corte es muy diferente al promedio encontrado, esta ecuación tendera a dar valores falsos.

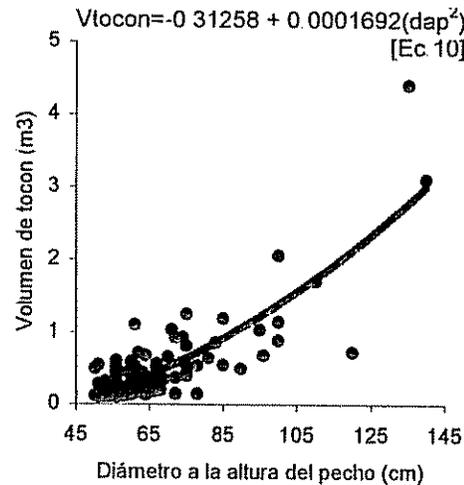


Figura 3. Relación del volumen del tocón con el diámetro a la altura del pecho.

La variable altura del tocón, no está altamente correlacionada con el volumen del tocón ($r=0.4997$, $Pr>r<0.0001$, $n=99$), posiblemente debido a la no uniformidad del corte, ya que existen diferentes alturas para el tocón por la forma del corte (la altura reportada para el presente estudio es promedio de cuatro o cinco lecturas). A pesar de esto, se incorporó la altura del tocón, a una ecuación para estimar el volumen del tocón, considerando además el dap^2 (Ec.11). Esta tiene un valor de regresión de 0.79 ($CV=57.55\%$, $n=99$), por lo que incorporando esta variable elevamos la precisión en la estimación del volumen del tocón. La ecuación se presenta a continuación:

$$Vtocon = -0.5298346 + 0.00017315(dap^2) + 0.5581628(altocon) \quad [Ec.11]$$

Donde:

Vtocon = Volumen del tocón (m^3)

Dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

Altocon = altura del tocón (m)

4.1.2.2. Fuste no comercial

El fuste de los individuos para efectos del estudio fueron separados en fuste comercial y fuste no comercial, considerando como fuste aquella parte del árbol sin ramificaciones. El punto que marcaba el fin de la parte comercial era el corte de descopado. Por lo tanto una parte de los individuos no posee fuste no comercial, ya que el corte queda a criterio del tumbador, de la facilidad de realizarlo, del diámetro menor apto para el aserrijo y de la sanidad de la troza.

En promedio para las dos unidades de manejo, el volumen de fuste no comercial por individuo es de 0.417 m^3 ($d.e.=0.675 \text{ m}^3$, $n=107$), que corresponde al 6.22 % ($d.e.=8.175 \%$, $n=31$) del volumen total de madera por árbol. Por ser tan heterogénea la presencia de fuste no comercial, la correlación con alguna variable dasométrica que pueda explicar su comportamiento es muy baja, por ejemplo con el diámetro a la altura del pecho y el volumen de fuste comercial ($r=0.246$ y $r=0.103$ respectivamente).

4.1.2.3. Ramas

El volumen promedio de ramas de los árboles aprovechados > 2 cm de diámetro, es de 2.232 m^3 ($d.e.=1.074 \text{ m}^3$, $n=31$). En los aprovechamientos 2002 de las UM evaluadas todas las ramas constituyeron residuos forestales, ya que por diversos motivos (falta de recursos, falta de tiempo y la poca rentabilidad de uso) no se aprovecharon. Comúnmente en Petén, cuando las ramas son aprovechadas, éstas son de las especies *Swietenia macrophylla* y *Cedrella odorata* hasta un diámetro mínimo de 20 cm y con secciones rectas.

El volumen de ramas presenta una correlación media con la variable diámetro a la altura del pecho ($r=0.74$, $Pr>r<0.0001$, $n=31$), a mayor diámetro, se espera que presente mayor volumen de madera en ramas, lo cual es lógico, ya que se necesita de una copa grande para mantener un fuste grande. La ecuación que mejor explica esta correlación únicamente alcanza un valor de R^2 de 0.58, por lo que no se propone ningún modelo. Agrupando las especies por tamaño de copa (Grupo 1: *Swietenia macrophylla* y *Cedrella Odorata*; Grupo 2: el resto de las especies) tampoco se logró obtener ecuaciones de regresión, a pesar de que el volumen de ramas de las especies grupo uno, es estadísticamente diferente al volumen de las especie grupo dos (T Student=3.59, $Pr>t=0.0012$, $gl=29$).

En el cuadro 5 se presentan el volumen medio por individuo por clase de rama (según grosor) y el porcentaje que este representa respecto al volumen total del árbol y los coeficientes de correlación respecto al dap. Las ramas mayores a un diámetro de 20 cm ocupan una posición importante respecto a todo un árbol, ya que representan casi el 19% del volumen total.

Cuadro 5. Volumen de ramas por clase de diámetro.

Tipo de Rama (por diámetro)	Volumen (m^3/ind)	% en relación al volumen por individuo	Coefficiente de correlación con el dap
> 20 cm	1.524 ($d.e.=1.935$, $n=96$)	18.88 ($d.e.=8.208$, $n=31$)	$r = 0.8397$ ($Pr>r<0.0001$)
Entre 10 y 19.9 cm	0.605 ($d.e.=0.305$, $n=32$)	9.09 ($d.e.=3.83$, $n=31$)	$r = 0.5827$ ($Pr>r=0.0005$)
Entre 2 y 9.9 cm	0.417 ($d.e.=0.161$, $n=32$)	6.50 ($d.e.=2.892$, $n=31$)	$r = 0.5365$ ($Pr>r=0.0015$)

Mucha de las ramas gruesas de todas las especies tienen potencial de ser aprovechadas para obtener tablas de pequeñas dimensiones, pero debido a la falta de mercado, maquinaria no apta para procesar madera de pequeñas dimensiones y a los altos costos de producción, son dejadas en el bosque como residuos.

De las tres clases de tipo de rama, solo la primera (ramas mayor a 20 cm de diámetro), presentan un valor de correlación alto en relación al dap. No se utilizaron otras variables independientes ya que el dap es la única factible de medir y con la menor posibilidad de error de medición. Se agruparon las especies según su tamaño de copa y aunque se encontraron diferencias estadísticas para el volumen de ramas por categorías (ramas hasta 20 cm, ramas entre 10 y 19.9 cm y ramas entre 2 y 9.9 cm) entre las especies grupo uno y grupo dos (siempre las especies grupo uno posee mayor volumen), el trabajarlas por separado no mejoró los coeficientes de correlación ni los modelos de regresión.

Para ramas hasta 20 cm, se probaron varios modelos de regresión siendo el que más se ajusta, el presentado en la figura 4 y ecuación 12, la cual tiene un valor de R^2 de 0.854 ($CV=62.13\%$, $n=96$, $\alpha=0.05$).

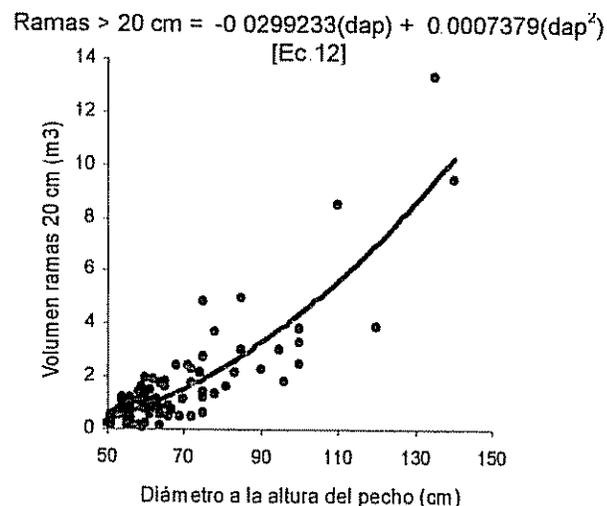


Figura 4. Relación del volumen de ramas > 20 cm de grosor con el diámetro a la altura del pecho.

Relacionando metro stereo con el espacio poroso, se encontró que un metro stereo con ramas entre 2 y 9.9 cm, únicamente el 40.3 % ($d.e.=7.07$, $n=20$), corresponde a espacio ocupado por ramas, mientras que para ramas entre 9.9 y 19.9 cm, el 54.4 % ($d.e.=6.45$, $n=19$), está ocupado por ramas.

Cada árbol posee 0.89 metro stereo en promedio ($d.e.=0.314$, $n=16$) de ramas entre 9.9 y 19.9 cm. Multiplicando este valor, por el porcentaje ocupado en un metro stereo de esta categoría de ramas, se encuentra que cada árbol posee un volumen de 0.359 m^3 , valor cercano al promedio por árbol encontrado por la suma del volumen de todas las ramas (cuadro 5).

Para las ramas entre 10 y 19.9 cm, cada árbol tiene en promedio 1.098 metro stereo ($d.e.=0.509$, $n=15$), utilizando el mismo procedimiento que para las ramas menores a 10 cm, se encuentra que cada árbol tiene en promedio 0.597 m³ de madera, en esta categoría de ramas, valor similar al reportado en el cuadro 5. Contreras Reinoso (1993) reporta que para los árboles aprovechados durante un aprovechamiento forestal en la finca La Istanica, San Francisco, Petén, se produce un total de 2.3 metro stereos de leña, pero no especifica que grosores fueron los utilizados. Para el presente estudio sumando los metros stereo de las dos clases de grosor se tiene que cada árbol produce 1.988 metros stereo, valor un tanto menor al reportado por Contreras Reinoso (1993).

Se realizaron pruebas de *T de Student* pareada, para evaluar si la relación metro stereo y volumen real de madera, difieren con el volumen medido rama por rama. En el caso de las ramas entre 2 a 9.9 cm, se encontró que no existen diferencias significativas ($T\ value\ paired=0.84$, $gl=17$, $\alpha=0.05$), mientras que para las ramas entre 10 y 19.9, si se encontraron diferencias significativas ($T\ value\ paired=3.86$, $gl=20$, $Pr>t<0.001$), ya que utilizar el factor de 54.4%, subestima el volumen real en un promedio de 8.1%.

4.1.3. Estimación de volumen de madera comercial en campo

El volumen de madera comercial promedio por individuo aprovechado para las unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactun, es de 3.722 m³ ($d.e.=2.659\ m^3$, $n=103$), aproximadamente el 53.31% ($d.e.=9.789\ \%$, $n=31$) del volumen total por individuo. Esta madera es arrastrada por los Skider's hasta las bacadillas (patios de acopios) y de aquí al punto de aserrío final. El porcentaje encontrado es similar al que reporta Solís Saucedo (1998) para los bosques húmedos tropicales donde aproximadamente un 40% de la biomasa total esta en la copa y en la raíz, mientras que el 60% de la misma esta ubicada en el tallo. Probablemente la diferencia radica en que este último no considera en descuento en la sección de fuste no comercial.

Tradicionalmente, en Petén se ha utilizado la fórmula desarrollada por la FAO (1981) para estimar el volumen de madera comercial de los individuos aprovechables. La formula es la siguiente:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = 0.0567 + 0.5074 * \text{dap}^2(\text{cm}) * \text{altura comercial(m)} \quad [\text{Ec.13}]$$

El principal problema de esta fórmula es que considera la altura comercial, la cual no es medida con la ayuda de algún tipo de aparato forestal, únicamente "al ojo", por lo que tiende a sobreestimar o subestimar. Lo anterior fue confirmado con una prueba de medias realizada a los valores de altura comercial estimados durante el censo comercial y a los medidos luego de que los árboles fueron tumbados. Se encontró que son estadísticamente diferentes ($T\ value\ paired=-14.83$, $Pr>t<0.0001$, $n=107$), ya que la altura esta siendo subestimada en aproximadamente 3.39 m, por lo que se consideró no recomendable utilizar esta variable para el desarrollo de ecuaciones de regresión.

En todo caso se evaluó la fórmula de la FAO, comparándola con los volúmenes estimados en campo a través de la fórmula de Smalian (Ecuación 2), encontrándose que existen diferencias estadísticas significativas (T value paired=7.02, $Pr>t<0.0001$, $n=107$), por lo que se generó una ecuación de regresión para estimar el volumen comercial en campo.

Únicamente se consideró la variable dap, ya que como se indicó anteriormente, la altura estimada en el censo es estadísticamente diferente a la real. El diámetro a la altura del pecho, presenta una alta correlación con el volumen de madera comercial ($r=0.937$, $Pr>r<0.0001$, $n=103$). El modelo que se generó, se presenta en la figura 5, el cual se ajusta principalmente a individuos con dap entre 50 y 140 cm, sin considerar la especie. El valor de R^2 es de 0.96 ($CV=24.24\%$, $n=103$, $\alpha=0.05$), se eliminó el intercepto debido a que este no fue significativo en la ecuación que si lo contenía.

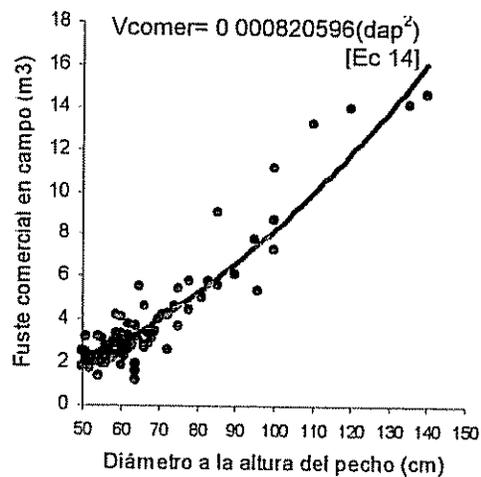


Figura 5. Relación entre diámetro a la altura del pecho y fuste comercial en campo.

Por cada metro cúbico de madera en troza, listo para ser arrastrado a bacadilla y luego al aserradero, se está dejando como residuos forestales 0.947 m^3 ($d.e.=0.434 \text{ m}^3$, $n=30$), sin considerar los árboles dañados por la tumba. En el cuadro 6 se presenta el volumen de madera producido de cada uno de los grupos de residuos en relación a un m^3 de madera comercial en troza. El grupo que más produce residuos es el de ramas hasta 20 cm de diámetro y el que menos es el tocón.

Cuadro 6. Volumen de madera residuos (m^3) por grupo en relación a un metro cúbico de madera útil en troza.

tocón	Fuste no comercial	Ramas hasta 20 cm	Ramas entre 19.9 y 10 cm	Ramas entre 9.9 y 2 cm	Desperdicios totales
0.126 ($d.e.=0.097$, $n=101$)	0.133 ($d.e.=0.176$, $n=107$)	0.352 ($d.e.=0.33$, $n=106$)	0.183 ($d.e.=0.1$, $n=32$)	0.129 ($d.e.=0.066$, $n=32$)	0.947 ($d.e.=0.434$, $n=30$)

4.1.4. Residuos producidos en la tumba por los árboles estudiados

En la figura 6 se presenta el número de individuos y el área basal dañada por clase diamétrica, a causa de la tumba de los individuos aprovechados de la unidad de manejo Río Chanchich. Estos resultados son totales para la muestra tomada ($n=49$), observándose que la mayor intensidad de daño, se dá en individuos muertos, principalmente en las clases diamétricas inferiores (5-20 cm), seguido por la clase de intensidad levemente dañado. En términos de área basal, la mayor intensidad de daño ocurrió en las clases medias (entre 10 y 30 cm). Las clases diamétricas inferiores fueron las más dañadas, debido a su abundancia ya que son más susceptibles por su tamaño. Similar situación reporta Morales Cancinos (1995) en un aprovechamiento en la cooperativa Bethel, Peten, Guatemala.

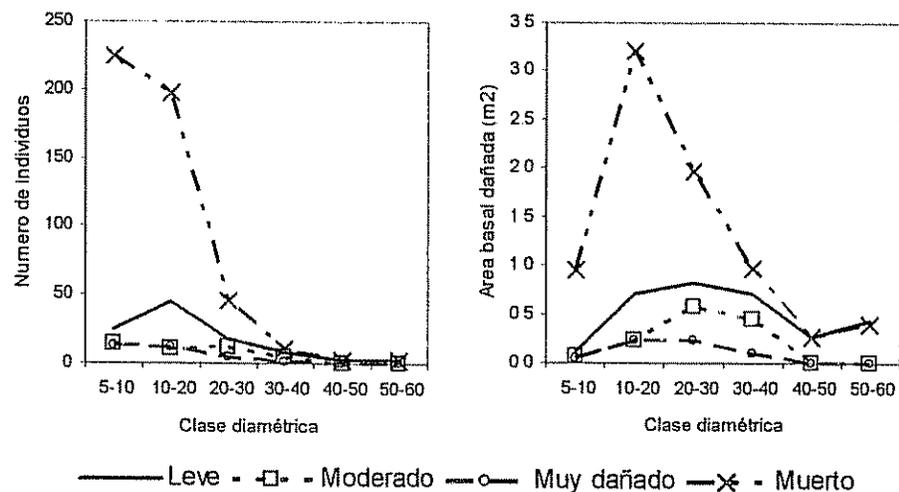


Figura 6. Intensidad de daño (número de individuos y área basal) por clase diamétrica de los individuos seleccionados ($n=49$).

En promedio por cada individuo que es tumbado, un área basal de 0.171 m^2 ($d.e.=0.137 \text{ m}^2$, $n=49$) es removida, por causa de descope total o derribe (92%) o por lesiones muy graves a individuos en pie. Aproximadamente, equivale a la muerte de 10 individuos ($\approx 36 \text{ ind/ha}$) con diámetro promedio de 12.6 cm (el rango de dap es entre 5 y 50.5 cm). Sabogal *et al.* (2001) reporta la muerte de 3 ind/ha a partir de 20 cm de dap, para un aprovechamiento forestal mejorado en Los Filos, Río San Juan, Nicaragua, el cual parece un valor bastante bajo, comparándolo con los 36 dañados en el presente estudio, pero hay considerar que en este caso el dap mínimo considerado fue de 5 cm. A partir de 20 cm dap, únicamente se dañaron 4.6 ind/ha, valor similar al reportado por Sabogal *et al.* (2001).

En términos de área basal, $0.5985 \text{ m}^2/\text{ha}$ son eliminados al momento de derribar a los individuos de corta, valor menor al reportado por Manzanero Cano (1998) en un aprovechamiento forestal en la unidad de manejo Carmelita, en Petén, Guatemala, quien indica que se eliminó $0.6173 \text{ m}^2/\text{ha}$. Este valor puede ser muy variable, afectado principalmente por el tipo de bosque.

Utilizando la ecuación generada por Brown *et al.* (1989) para estimar biomasa a partir del diámetro para zonas de bosques tropicales en zona de vida húmeda ($R^2 \text{ adj}=0.78$, $n=168$, $CME^7=0.0618$) se estimó la biomasa promedio que se eliminó por sitio de tumba, la cual es de 1.44 ton/sitio ($d.e.=1.318 \text{ ton}$, $n=49$). La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Y=38.4908 - 11.7883(dap) + 1.1926(dap^2) \quad [\text{Ec. 15}]$$

Donde:

Y= Biomasa por individuo (kg/árbol)

Dap= diámetro a la altura del pecho en cm

No se pudo correlacionar ninguna variable dasométrica del individuo tumbado con la biomasa dañada en el claro de tumba, debido a la gran variabilidad que presenta la información recolectada en la muestra. Esto debido a que esta variable esta influenciada, por el nivel de infestación de lianas, tipo de bosque, forma y tamaño de la copa y de la dirección de tumba. Similar situación fue descrita por Verissimo *et al.* (1992), Pinard y Putz (1996) y Contreras y Morales (1995) quienes indican que el número de árboles dañados no es proporcional al volumen tumbado.

4.2. Residuos producidos en el aserrío de la muestra estudiada

4.2.1. Aserrío con aserradero

Luego de que los árboles son tumbados, son arrastrados hasta bacadilla, troceados y transportados hasta el punto de aserrío final. Antes de ingresar al aserradero, son "descascarados"⁸, para evitar el desgaste de las cintas (del aserradero) ya que en la corteza se almacena lodo y/o piedras.

A partir de la base de datos de tumba de individuos del Aprovechamiento Anual de 1995, en la unidad de manejo "San Miguel la Palotada" (Proyecto CATIE/OLAFO s.f.), donde se presenta el diámetro con corteza y sin corteza. Se procedió a estimar la diferencia, la cual corresponde al grosor de la corteza por dos.

El grosor de la corteza varía entre las diferentes especies (Cuadro 7) y también de acuerdo con el diámetro de la troza. En promedio esta es de 2.2 cm. Por cada troza con corteza, el 86.94 % ($d.e.=2.71 \%$, $n=95$) es la madera que ingresa al aserrío, el resto es volumen ocupado por la corteza. Este valor fue estimado a partir del promedio de grosor de corteza indicado anteriormente, el cual se le sumo a los valores de dap de las trozas medidas antes de ingresar al aserrío, para calcular el volumen (ecuación 2) con esos nuevos valores. Por simple diferencia (volumen con corteza – volumen sin corteza) se calculo el % indicado.

⁷ CME= Cuadrado medio del error

⁸ Proceso en el cual a las trozas se les elimina la corteza

Cuadro 7. Diferencia entre diámetro con corteza y sin corteza para 6 especies forestales

Especie	n	Diferencia (cm)	Grosor de corteza (cm)
<i>Swietenia macrophylla</i>	31	4.42 (d.e.=1.246)	2.2
<i>Cedrella odorata</i>	6	5.12 (d.e.=1.729)	2.6
<i>Astronium graveolens</i>	2	3.07	1.5
<i>Aspidosperma stegomeris</i>	12	3.52 (d.e.=0.786)	1.8
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	6	3.37 (d.e.=1.85)	1.6
<i>Calophyllum brasiliense</i>	17	5.24 (d.e.=1.699)	2.6
Promedio	74	4.40 (d.e.=1.51)	2.2

FUENTE: Bases de datos área de aprovechamiento anual 1995, San Miguel la Palotada (Proyecto CATIE/OLAFO s.f.)

En el aserradero solo se pudo estimar el porcentaje de residuos hasta el proceso de desorillado, debido a la necesidad de hacer mediciones después de que cada tabla salía de la máquina aserradora, lo que dificultó hacer mediciones hasta después del proceso de despunte. Se utilizaron 95 trozas, de las cuales el 92.63% pertenecieron a la especie *Swietenia macrophylla*, 4.21% fueron *Dendropanax arboreum* y 3.16% fueron *Calophyllum brasiliense*. El tipo de aserradero utilizado fue uno portátil de la marca Wood Mizer, modelo LT40 Súper Hidráulico, con ancho de corte de 0.16 cm.

Se consideró como el 100%, el volumen de madera en troza sin corteza, que es ingresado a la máquina aserradora. El volumen total de madera en troza evaluada fue de 114 m³ y el volumen promedio por troza de 1.201 m³ (d.e.=0.699 m³, n=95).

Del volumen de madera en troza que ingresa a la cadena de aserrío, se pierde el 6.06 % (d.e.=0.943 %, n=95) en forma de aserrín, producido principalmente durante el aserrío principal, debido a la cantidad de cortes. El volumen de aserrín es bajo debido al grosor de la sierra, el cual es de 1/16 pulg (0.16 cm). Quiroz Herrera (1990) reporta un desperdicio del 15.28% en forma de aserrín, para aserraderos Wood Mizer, modelo LT30, que opera con el mismo grosor de corte (de cinta). La diferencia radica en la cantidad de cortes, ya que en este estudio obtuvieron como producto final, reglas. Soto Sandoval (1999) reporta que en promedio los aserraderos de la región Huetar Norte de Costa Rica, producen un 11.56% de aserrín del volumen total de la troza. En este caso la diferencia se debe a que este valor, proviene de muestras tomadas en aserraderos estacionarios, en los cuales regularmente el ancho de corte, es mayor al aserradero en estudio.

Donde más madera se pierde como desperdicios es en lepas y orillas, las cuales en promedio son el 18.44 % (d.e.=8.801 %, n=95) del volumen de madera total. Las lepas solo son producidas durante los primeros cortes y son con la finalidad de dejar ya lista la cara de la tabla que saldrá en el siguiente corte. No todas las tablas pasan por el desorillado, ya que luego de varios cortes, la troza es cuadrada. Cuando la tabla pasa por el desorillado, se le empareja uno o dos lados, dependiendo de la condición de la tabla.

A cada tabla se le agrega 0.5 cm (3/16 pulg) al grosor, excedente que en Petén se le conoce como "macía", con el propósito que el comprador final pueda darle el terminado final a la tabla, sin perder el grosor original (1, 1.5 o 2 pulg). En los aserraderos de la Amazonía Oriental del Brasil, también se le agrega a cada tabla 4.3 mm para asegurar que la medida quede dentro de las especificaciones del comprador (Gerwing *et al.* 1996). Aunque sean unos pocos milímetros por tabla, la suma total da un valor importante. Este volumen de madera que al final también será residuos, corresponde al 8.93 % (*d.e.* = 1.398 %, *n*=95) del volumen total de la troza. Gerwing *et al.* (1996) considera este valor como del 5% del volumen total del tronco.

Hasta este punto (después del desorillado), del 100% de madera en troza descortezada, el 33.43 % (*d.e.* = 8.039 %, *n*=95) es madera en residuos, aun faltando el despunte y cortes de la clasificación preliminar.

El último paso antes de que la madera este lista para el embarque, es el despuntado, que es donde se emparejan los extremos, y además se les da el largo definitivo a las tablas, considerando aspectos de calidad (manchas, nudos, etc). Como no se pudo seguir las tablas, hasta este punto y estimar el valor real de madera útil, se utilizó, la ecuación generada para *Sweitenia macrophylla* por Martínez (2002), para estimar el volumen de madera aserrada en pies tablares a partir de mediciones en trozas. La ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$Pt = 74.2427 - 7.8472 Dm + 0.0538 Dm^2 * L \quad [Ec. 16]$$

Donde:

Pt= volumen en pies tablares

Dm= diámetro menor en pulgadas

L= largo en pies

A partir de esta fórmula se estimó que el volumen de madera en tabla, que resulta del aserrío de una troza es en promedio el 51.23 % (*d.e.* = 5.405 %, *n*=51), valor muy similar al reportado por Sandoval *et al.* (2000) con un rendimiento del 48.5%, obtenido a partir de la evaluación de 21 aserraderos de la región Huetar Norte de Costa Rica, mientras que Gerwing *et al.* (1996) indica que del volumen total de materia que compone un tronco típico, menos del 35% es transformada en madera aserrada. Martínez (2002) evaluando el rendimiento de la misma máquina, encontró que para *Calophyllum brasiliense* el 46% del volumen de una troza es el volumen útil, y para *Lonchocarpus castilloi* el 43%; valores cercanos al encontrado y reportados en otros estudios. Cruz Bolaños (1998) reporta un rendimiento del 43.42% para el aserrío de 122 trozas de *Sweitenia macrophylla* con el uso de un aserradero de banda de ancho de corte de 1/8" (3.1 mm), el cual es un tanto menor al reportado por el aserradero en estudio, debido al grosor de corte.

El número de muestras se redujo considerablemente debido a que se consideraron únicamente las trozas que no presentaran rendimiento mayor al obtenido en la muestra utilizada en el presente trabajo y estuvieran entre un rango de reducción (o volumen de despunte) entre el 5 y 20% del total. El porcentaje promedio de desperdicios que resulta por el despunte y clasificación es del 14.2 % (*d.e.* = 4.886 %, *n* = 51).

Considerando entonces, el volumen útil total (utilizando la ecuación 16), la relación metro cúbico en troza vrs. pies tablares es de 217. El porcentaje final de residuos es de 48.77 % (*d.e.* = 5.405 %, *n* = 51), siendo un valor considerablemente alto, a pesar de la tecnología utilizada. Este valor depende de la rectitud y sanidad de la troza, y de la persona que opere la maquinaria. Soto Sandoval (1999) reporta que los aserraderos de la región Huetar Norte de Costa Rica (28 empresas) producen en promedio un 43.91% de residuos por cada troza que ingresa al aserradero, valor similar encontrado en el presente estudio.

Los resultados indican que por cada metro cúbico de madera en tabla que se obtiene en la cadena de producción lista para el embarque, se produce 0.974 m³ (*d.e.* = 0.218 m³, *n* = 51) en residuos.

Se construyeron ecuaciones de regresión para estimar el volumen de madera aserrada y el volumen de residuos, para después del despunte, combinando los resultados obtenidos en campo y la ecuación generada por Martínez (2002; Ec.16). La ecuación que estima el volumen real de producción (ecuación 17) posee un valor de R² de 0.9755 (*CV* = 9.368 %, *n* = 51, $\alpha = 0.05$), por otro lado la ecuación para residuos (ecuación 18) posee un valor de R² de 0.9375 (*CV* = 11.52 %, *n* = 51, $\alpha = 0.05$). Ambas ecuaciones fueron construidas con promedio de diámetro entre 38 y 110 cm y largos entre 2.54 y 5.8 metros.

$$\text{Volumen útil} = -0.0862747 + 0.000047 (\text{prom}^2 * \text{largo}) \quad [\text{Ec. 17}]$$

$$\text{Volumen resd} = 0.08801627 + 0.0000317036 (\text{prom}^2 * \text{largo}) \quad [\text{Ec. 18}]$$

Donde:

Volumen útil = Volumen de madera aserrada en m³

Volumen resd = Volumen de residuos (macia, aserrín, lepa y desorillado) en m³

Prom = promedio de los diámetros de las dos caras de la troza en cm

Largo = largo de la troza en metros

Es importante mencionar que las tablas aserradas lista para la venta, incluyen aun la macia, por lo que el volumen realmente es mayor, pero no se considera en este caso, ya que cuando a estas se les da el acabado final ese medio centímetros de mas, se les remueve.

4.2.2. Aserrío con motosierra

El aserrío con la ayuda de motosierra en la Reserva de Biosfera "Maya", es una actividad que únicamente se practica para el aserrío de ramas que no son económicamente factibles de transportar hasta el aserradero. El aserrío para trozas con motosierra, esta actualmente prohibido en la Reserva.

En tal caso se utilizaron las bases de datos del proyecto CATIE/OLAFO (s.f.) para el aserrío con motosierra de la UM "San Miguel la Palota", años 1995, 1996, 1998 y 1999, y de la UM La Pasadita, años 1997, 1998 y 1999. Se seleccionaron individuos al azar, que presentaran la información completa (censo comercial, tumba, troceo y aserrío) sin considerar la especie. En el cuadro 8 se presenta la información de los individuos seleccionados por unidad de manejo.

Cuadro 8. Información general de las trozas utilizadas para la estimación de desperdicios con motosierra.

Concesión	Año	S. <i>macrophylla</i>		C. <i>brasiliense</i>		T. <i>amazonia</i>		C. <i>odorata</i>		A. <i>graveolens</i>		A. <i>megalocarpom</i>		L. <i>castilloi</i>		Totales	
		N	Vol	N	Vol	N	Vol	N	Vol	N	Vol	N	Vol	N	Vol	N	Vol
San Miguel	1995	13	7.43	5	3.55	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	18	10.98
San Miguel	1996	--	--	52	23.3	3	1.24	5	3.59	3	0.94	--	--	--	--	63	29.07
San Miguel	1998	4	1.71	58	26.2	--	--	33	17.6	5	1.68	21	6.71	--	--	121	53.9
San Miguel	1999	6	7.76	18	7.27	--	--	33	16.3	4	1.12	6	2.34	21	13.5	88	48.3
La Pasadita	1997	26	21.6	28	15.0	--	--	11	4.82	15	4.93	22	8.51	--	--	102	54.86
La Pasadita	1998	29	17.6	12	3.98	3	0.79	4	2.97	3	0.73	--	--	48	17.5	99	43.57
La Pasadita	1999	39	18.9	11	4.32	--	--	--	--	--	--	--	--	3	18.9	53	42.12
Totales		117	75	184	83.6	6	2.03	86	45.3	30	9.4	49	17.6	72	49.9	544	282.8

N= número de trozas evaluadas

Vol = volumen por Smalian (m³) de las trozas

El volumen total de madera por troza sin corteza, fue considerado como el 100%. No se pudo determinar el volumen por subproducto de residuo (aserrín, lepa, etc) debido a que las bases de datos no proporcionan mayor información.

El rendimiento promedio para el aserrío con motosierra es de 39.69 % (d.e = 12.6 %, n=544), para las 7 especies evaluadas. Expresando este valor en pies tablares, por cada metro cúbico de madera en rollo se producen 168.28 pies tablares. Dubon Bardales (1996) reporta para aserrío con motosierra un rendimiento promedio del 53.6% para madera proveniente de la costa norte de Honduras, valor mucho mayor al reportado en este trabajo, debido probablemente a la cantidad de tabloncillos sacados y al grosor de estos, ya que un alto porcentaje de madera obtenida en el estudio de Dubon Bardales (1996) son de grosor entre 4 y 5 pulgadas, mientras que en el caso del presente estudio habían hasta de una pulgada. Contreras Reinoso (1993) estimó el rendimiento del aserrío con motosierra y marco, utilizando 30 trozas provenientes de un aprovechamiento forestal de la Finca La Istancia, San Francisco, Petén, pertenecientes a la especies *T. amazonia*, *S. macrophylla*, *C. brasiliense* y *P. ellipticum*, encontrando un rendimiento promedio del 38% (ya descontando la macia). Valor muy similar al encontrado para el presente estudio.

Se elaboró una ecuación de regresión para estimar el rendimiento de aserrío con motosierra, a partir del promedio del diámetro de las dos caras y largo de las trozas, la cual se presenta en la figura 7. La ecuación tiene un valor de regresión R^2 de 0.7967 ($CV=30.20$, $n=544$, $\alpha=0.05$), elaborada con trozas con diámetro promedio entre 28 y 106 centímetros y largos entre 0.95 y 6.28 metros.

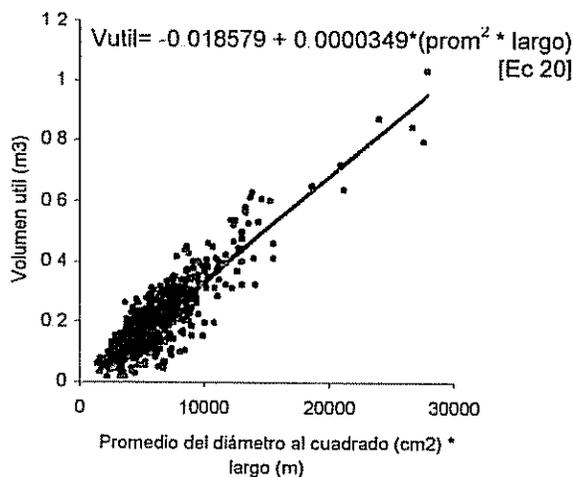


Figura 7. Relación entre volumen de troza y volumen útil para aserrío con motosierra.

4.2.3. Comparación entre aserrío con aserradero vrs con motosierra

En el cuadro 9 se presenta el resumen final de los rendimientos obtenidos bajo las dos tecnologías de aserrío empleadas en el presente estudio. Se observa que la utilización del aserradero para el procesamiento de madera proveniente de los bosques productivos de la Reserva de Biosfera "Maya", aumenta la productividad en comparación de la utilización de motosierra, en aproximadamente 1.2 veces, debido principalmente al ancho de corte y a los flexibilidad de operación del aserradero. Por lo tanto, se obtiene una ganancia en el carbono que permanece almacenado en la madera que será procesada. Obsérvese además, que el componente de residuos con mayor porcentaje respecto a la troza total sin corteza es el de lepas y orillas, madera a la cual se le debe de buscar mayor utilidad, al igual que a la madera obtenida por despunte.

Cuadro 9. Rendimiento de aserrío bajo dos tecnologías de producción.

Tecnología	Troza sin corteza	Aserrín	Lepas y orillas	Despunte	Macia	Madera útil	Madera en residuos*
Aserradero	100%	6.1%	18.4%	14.2%	8.9%	51.2%	48.8%
Motosierra	100%					39.7%	60.3%

* La suma del desglose de residuos no da el valor el dato reportado bajo esta columna, debido al redondeo de decimales
 NOTA: No se presenta el desglose para el caso de aserrío con motosierra por falta de información.

4.3. Estimación del carbono en residuos producidos por el aprovechamiento forestal

4.3.1. ESCENARIO 1. Aprovechamiento forestal mejorado y aserrío con aserradero

En las dos unidades de manejo, la planificación y censo comercial se realiza regularmente en el segundo semestre del año anterior al que se realizara la corta. El censo comercial se realiza utilizando el sistema de fajas a 100 metros cada una, ubicando los árboles aprovechables, semilleros, remantes y de futura cosecha, en coordenadas polares x, y. Estos individuos son identificados y se les mide dap, altura comercial y altura potencial. Además durante el censo se toma información sobre accidentes geográficos (pendientes fuertes, ríos, etc.) y sitios de interés ecológico y/o arqueológico. En la medida de lo posible se realiza corte de lianas a los individuos aprovechables.

Posteriormente, en la elaboración del plan operativo, se elaboran mapas donde se ubican los árboles aprovechables, semilleros, remantes y de futura cosecha, los cuales son utilizados por los tumbadores, para evitar el daño de la masa remante. También se planifica el sistema de caminos y bacadillas que son necesarios para implementar las actividades de extracción, arrastre y transporte final.

El aprovechamiento en si, se realiza en los primeros meses del año. Inicialmente todos los árboles son marcados, tanto los aprovechables, semilleros, remanentes y de futura cosecha, con marcas que sean fácilmente visibles por los tumbadores, al mismo tiempo que se continúa con la eliminación de lianas. Posteriormente se realiza la tala, utilizando los criterios de la tumba dirigida, evitando el menor daño a la masa remante y se realiza el descopado o despunte.

Simultáneamente a la tumba se construyen los wines o vías de arrastre tomando como base lo planificado en los mapas, para lo cual se eliminan individuos pequeños con machete y los estrictamente necesarios con motosierra. Se toma en consideración que estos deben ser contruidos evitando curvas, para facilitar el paso del skidder con la troza. En ambas unidades de manejo se utilizo el Skidder o tractor forestal para transportar la madera hasta la bacadilla, donde era troceada, cubicada y cargada en camiones para ser trasladada a los patios de aserrío.

En ambas unidades de manejo se utilizó aserraderos de la marca Wood Mizer LT40 Súper Hidráulico. Este posee un motor de 25 Hp de doble cilindro y de arranque eléctrico, el máximo diámetro de corta es de 91 cm y 6.4 m de largo, la velocidad de corte es de 18.6 pies/minuto para maderas duras, posee brazos y niveladores hidráulicos, la sierra es de tipo banda de 1 mm * 32 mm y la eficiencia para maderas tropicales es de un 46% (Ortiz 2000).

En la figura 8, se presenta en forma gráfica el flujo general de desperdicios en las diferentes etapas de aprovechamiento y aserrío. Este flujograma será la base para construir el escenario de aprovechamiento mejorado y aserrío con aserradero. Se presenta el flujo de un solo individuo sin considerar que hay desperdicios por pistas de arrastre y patios de acopio, ya que estos no se pueden estimar por individuo, sino por el área total.

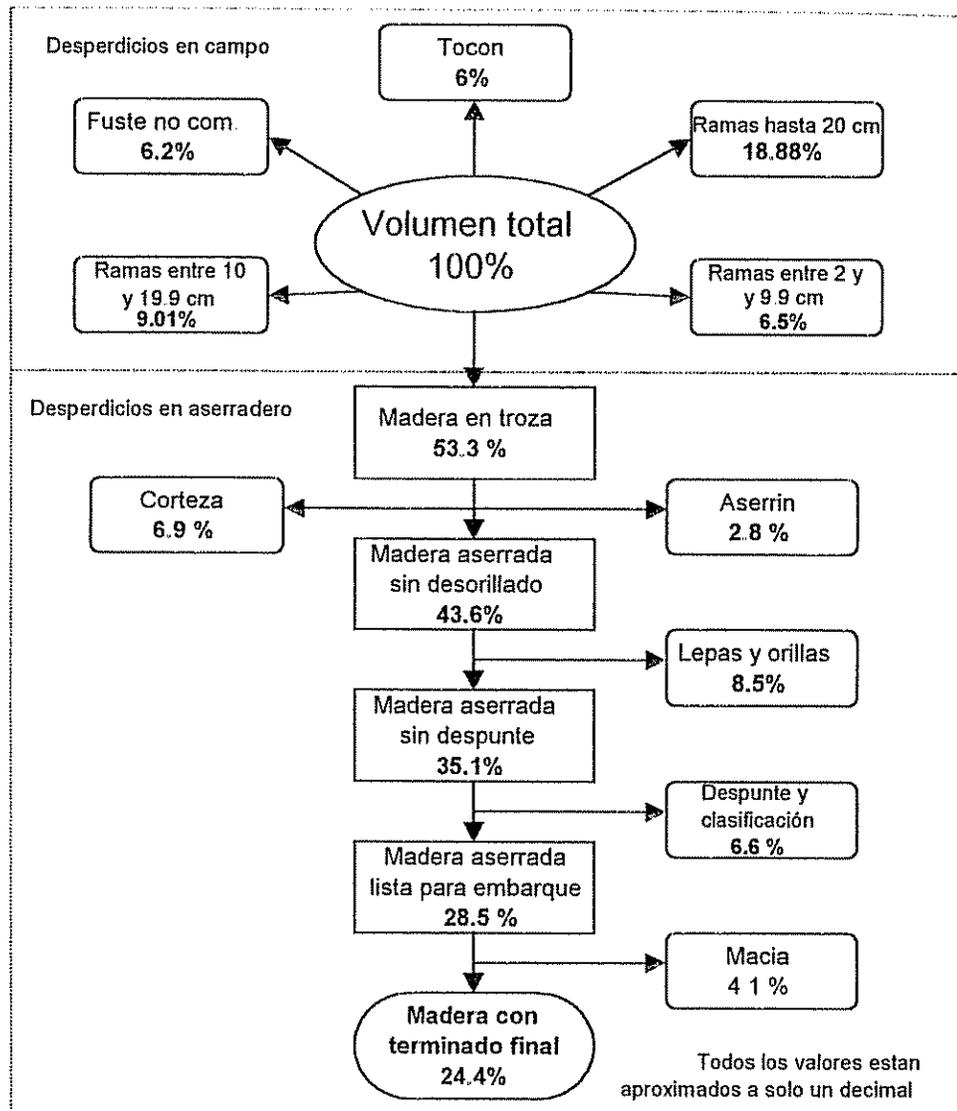


Figura 8. Flujograma de madera de un individuo promedio de las UM Río Chanchich y Uaxactún, bajo el sistema de aprovechamiento mejorado y aserrió con aserradero.

4.3.1.1. Desperdicios en campo

Para el año 2002, en la UM Río Chanchich, se aprovechó un total de 1263 individuos pertenecientes a 16 especies, mientras que en la UM Uaxactún únicamente 270 individuos fueron aprovechados pertenecientes a 4 especies. Aunque las extensiones aprovechadas son similares, la diferencia radica en que los bosques de Uaxactún han sido mayormente intervenidos por la mano humana. Además, hay que observar la cantidad de especies aprovechadas en cada unidad de manejo, lo que manifiesta la experiencia y los nichos de mercado que ha conseguido Impulsores Suchitecos para aprovechar un mayor número de especies forestales, lo que le proporciona mayor valor económico al bosque en términos madereros.

En el cuadro 10 se observa las principales variables dasométricas para las dos áreas de aprovechamiento en estudio. Es importante destacar que se tiene los dos extremos en intensidad de aprovechamiento, por un lado Río Chanchich, con la corta de 3.5 ind/ha (20.616 m³/ha) y en el otro, Uaxactún con la corta de 0.7 ind/ha (4.871 m³/ha).

Cuadro 10. Variables dasométricas para las áreas de aprovechamiento 2002, de las unidades de manejo en estudio.

Unidad de Manejo	Extensión (ha)	Especies	Individuos	Ind/ha	Area Basal (m ²)	Area Basal (m ² /ha)	Volumen* (m ³)	Volumen* (m ³ /ha)
Río Chanchich	366	16	1263	3.5	409.871	1.119	7545.4	20.616
Uaxactún	400	4	270	0.7	106.444	0.266	1948.41	4.871

* Volumen aprovechable

Según el plan de manejo de Río Chanchich, el área de aprovechamiento del año 2002 se ubica en el Estrato "C", con un promedio de área basal de 21.163 m²/ha a partir de 10 cm dap (SCIS/NPV 2000), por lo que se está disminuyendo por la tala de individuos a un 94.7%. En el caso de Uaxactún, según Bámaca (2000), el POA se ubica dentro del estrato denominado como "A", que posee un área basal promedio de 19.217 m²/ha a partir de 10 cm dap, y se redujo luego del aprovechamiento al 98.6%.

Utilizando la ecuación generada anteriormente, se procedió a estimar el volumen que se pierde para todo el aprovechamiento. En la figura 9 se observa que por el aprovechamiento forestal se está removiendo del bosque, en el caso de Río Chanchich 2,004.62 ton C y 561.14 ton C en el caso de Uaxactún; 5.48 tonC/ha y 1.40 tonC/ha, respectivamente. Según Arreaga Gramajo (2002), los bosques de Río Chanchich tienen una biomasa de 210.69 ton/ha (*datos preliminares*), aproximadamente 105.35 ton C/ha; mientras que los de Uaxactún 161.85 ton biomasa/ha (*datos preliminares*), equivalentes a 80.93 ton C/ha.

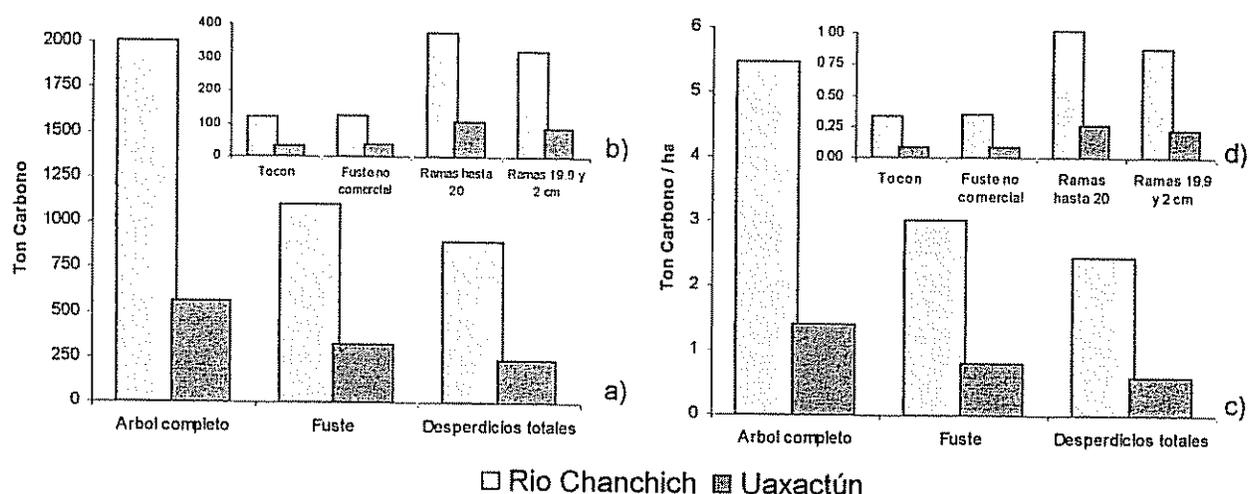


Figura 9. Carbono total removido durante el aprovechamiento forestal 2002 bajo un sistema de aprovechamiento mejorado. a) Expresado en términos generales b) Desperdicios totales por componente del individuo, c) y d) expresados en ton C/ha.

De los árboles tumbados alrededor del 55% del carbono total es transportado hacia el aserradero, para su procesamiento. El restante se queda botado en el bosque como residuos del aprovechamiento, siendo uno de los principales componentes el de ramas hasta 20 cm de grosor (ver figura 9b), las cuales son las que tiene mayor potencial de ser procesados para evitar la pérdida de carbono almacenado en estas. Solo en la madera que queda en los tocones, fuste no comercial y ramas, para la unidad de manejo Río Chanchich se esta quedando botados 900.65 ton C y para Uaxactún 240.152 ton C; 2.46 ton C/ha y 0.60 ton C/ha respectivamente.

Por la caída de los árboles, en Río Chanchich se estima que se daño hasta el punto de muerte 1,824.11 ton biomasa que equivale a un 912.05 ton C (2.49 ton C/ha). En la caso de Uaxactún, debido a que no se recopiló información de los sitios de tumba, se utilizó el mismo promedio que en Río Chanchich, por lo tanto para los 270 individuos cortados se estima que se derribó un total de 389.95 ton biomasa, correspondientes a 194.98 ton C (0.487 ton C/ha), que quedan en el suelo en proceso de descomposición.

En el cuadro 11, se presenta el resumen de la estimación de biomasa y toneladas de carbono, que son removidas debido a la construcción del camino principal y "wines" (vías de arrastre), por unidad de manejo. La biomasa removida se estimó a partir del promedio en secciones de 25 metros en las vías de arrastre, que en el caso de Río Chanchich fue de 0.6406 ton biomasa/sección (*d.e.*=0.4172 ton, *n*=50) y en Uaxactún de 0.679 ton biomasa/sección (*d.e.*=0.791 ton, *n*=50).

Por la construcción de caminos y vías de arrastre, en Río Chanchich se esta removiendo y dejando como residuos 711.717 ton C y en Uaxactún 401.078 ton C; 1.94 ton C/ha y 1.003 ton C /ha respectivamente.

Cuadro 11. Biomasa y carbono removidos por construcción de camino principal y vías de arrastre en las unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactún.

	Río Chanchich	Uaxactún
CAMINO PRINCIPAL		
Longitud total (m)	3,217.32	2,252.00
Ancho promedio (m)	11.99	11.99 *
Area total disturbada (ha)	3.68	2.73
Biomasa removida (Ton)**	234.08	184.28
Carbono removido (Ton)	117.04	92.14
WINES		
Longitud total (m)	46,415.18	22,736.00
Ancho promedio (m)	4.04	4.04 *
área total disturbada (ha)	18.64	9.24
Biomasa removida (Ton)**	1189.35	617.88
Carbono removido (Ton)	594.68	308.99

* Se tomo el mismo ancho que el de Río Chanchich.

** Biomasa estimada a partir de la ecuación de Brown *et al* (1989) (Ec. 15)

Como se observa en el cuadro 11, el ancho promedio del camino principal fue de 11.99 m, valor similar al reportada por Uhl y Guimaraes (1989) para un aprovechamiento selectivo en la Región de Paragominas, Brasil. Ellos reportan un ancho promedio de 12.5 metros. Respecto a los wines, en este estudio se reporta un ancho promedio de 4.04 m, mientras que Uhl y Guimaraes (1989) reportan 3 metros, a pesar que en este ultimo la maquinaria utilizada fue bulldozers y en las unidades de manejo evaluadas, el tractor forestal o el skidder. Johns *et al.* (1996) para aprovechamientos tradicionales y mejorados reporta un ancho promedio de 3.6 metros indiferentemente del uso de bulldozer o skidder. Contreras y Morales (1995) reportan un ancho promedio de 3 metros para un aprovechamiento en la cooperativa Bethel, Petén, utilizando tractor agrícola.

A nivel de campo, el otro sitio donde se produce desperdicios forestales es en las "bacadillas" o patios de acopio, en las cuales toda la cobertura es removida. En la unidad de manejo Río Chanchich se construyeron 4 bacadillas (ver anexo 2), con un área total de 0.8785 ha, en la cual se removieron 100.529 ton C (0.275 ton C/ha). En Uaxactún, fueron 3 bacadillas (ver anexo 3), con un área total de 0.75 ha, removiéndose 65.018 ton C (0.163 ton C/ha). En el cuadro 12, se presenta información mas detallada por bacadilla.

Cuadro 12. Biomasa y carbono removidos por construcción de bacadillas "patios de acopio" en las unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactún.

UM Río Chanchich	Bacadilla A1	Bacadilla A2	Bacadilla B	Bacadilla C
Area Total (ha)	0.2698	0.1946	0.1530	0.2609
Biomasa total (Ton)*	75.43	30.89	38.608	58.707
Carbono (Ton)	37.717	15.445	19.304	29.354
UM Uaxactún	Bacadilla A**	Bacadilla B	Bacadilla D	
Area Total (ha)	0.25	0.25	0.25	
Biomasa total (Ton)*	47.396	39.295	43.344	
Carbono (Ton)	23.698	19.647	21.673	

* Biomasa estimada a partir de Brown *et al.* (1989) (Ec 15)

** La información se obtuvo del promedio de las otras dos bacadillas, ya que no fue posible levantar la información de esta.

Considerando solamente bacadillas, wines y caminos principales, en Río Chanchich se eliminó la cobertura completamente en 23.183 ha, de las 366 ha, o sea el 6.33 %⁹. En total se está dejando en el bosque como desperdicios 2,624.95 ton C (7.17 ton C/ha), en forma de madera en proceso de descomposición.

Por el otro lado, en la unidad de manejo Uaxactún, bajo una intensidad de corta baja (0.7 ind/ha), se está eliminando de cobertura completamente a 12.719 ha, correspondiente a 3.18% del área total (400 ha). En forma de residuos, considerando además sitios de tumba y los residuos de los individuos talados, se queda como carbono en proceso de descomposición 901.228 ton C (2.25 ton C/ha).

⁹ Este valor es un tanto mayor, ya que en los sitios de tumba, no se considero el daño por tamaño de claro, si no por biomasa dañada

En un aprovechamiento selectivo en la región de Paragominas, Brasil, solo por construcción de caminos, se removió la cobertura boscosa en un 8% del área aprovechada (Uhl y Guimaraes 1989), para una intensidad de corta de 4.3 ind/ha. Comparando estos valores, con los de la unidad de manejo Río Chanchich, donde se aprovechan 3.5 ind/ha, el área dañada por caminos y bacadillas son bastantes similares. En otro aprovechamiento forestal de tipo mejorado en el sitio "Los Filos", Río San Juan, Nicaragua donde se extrajeron 3.8 ind/ha, el 7% del área de aprovechamiento fue aperturada para construcción de caminos y patios de acopio (Sabogal *et al.* 2001), valor también muy similar al encontrado en Río Chanchich. Por otro lado en la región Huetar Norte de Costa Rica, se dañó solamente el 5% del área boscosa por construcción de caminos y vías de arrastre, donde se extrajeron 3.95 ind/ha (Méndez 1993), lo que indica que es posible disminuir aun el daño sobre la masa remanente, que esta ocasionando Impulsores Suchitecos a los bosques de Río Chanchich. Esto sería gracias a la mejora en la planificación de caminos y a la disminución de los anchos de vias y vías principales.

En aprovechamientos de menor intensidad, Reyes Rodas (1998) reporta el daño del 2.47% del área de la unidad de corta 1998, en San Miguel la Palotada, Petén, aprovechando 1.36 ind/ha. Gálvez Ruano (1996) da un valor de área impactada del 3.15% (caminos y bacadillas) en un aprovechamiento en San Miguel la Palotada, Petén, aprovechando 1.45 ind/ha. Según la información de estos autores y comparándola con los de la UM Uaxactún, el área impactada para esta última, debería ser menor ya que la intensidad de corta es menor (0.7 ind/ha).

4.3.2. Desperdicios en aserradero

Las trozas útiles son transportadas hasta el punto de aserrío, para la transformación primaria. En el caso de las dos unidades de manejo utilizaron aserraderos de la marca Wood Mizer, Modelo LT40 súper hidráulico, el cual posee una sierra de 1 mm de grosor.

En forma resumida en la figura 10, se presenta el flujo de carbono en el aserradero, observándose, que el volumen de madera útil, que es transformada a productos es baja, solamente el 45% es procesado a tablas que es la forma como las sociedades civiles entregan la madera a los compradores.

En la unidad de manejo Río Chanchich, tal y como se observa en la figura 10, 601.33 ton C son desperdicias en el proceso de aserrío, quedando principalmente en forma de corteza, aserrín, lepas y orillas, macía y residuos por clasificación. En la unidad de manejo Uaxactún, se estima que se produjo 174.84 ton C en forma de desperdicios.

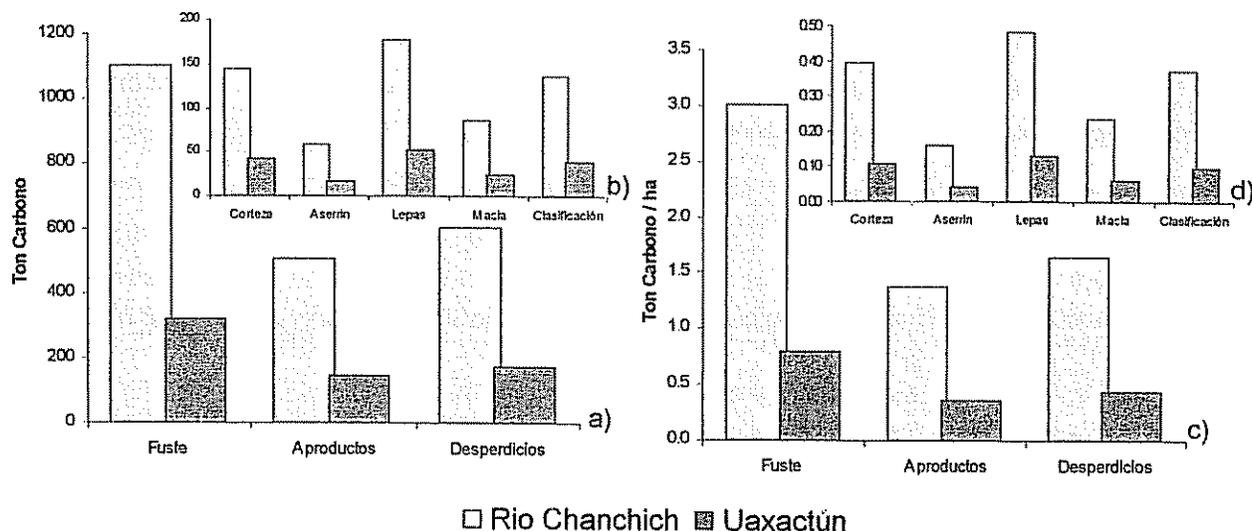


Figura 10. Carbono total en desperdicios y en madera utilizable en el proceso de aserrío con aserradero, UM Río Chanchich y Uaxactún. a) Expresado en términos generales b) Residuos totales por componente de aserrío, c) y d) expresado en ton C/ha.

La corteza no es utilizada para fin alguno, únicamente es dejada como basura en el patio de aserrío, acumulándose en el suelo. Debido al pequeño grosor de la sierra del aserradero, el volumen de aserrín producido es bastante bajo, este no tiene ningún uso, solo es acumulado en un sitio dentro del patio de aserrío. La lepas y orillas son usados principalmente como combustible por familias que habitan cercano a los sitios de aserrío, o para la construcción de cercos. Para los residuos por macia, no se pudo establecer su uso, ya que este es producido en donde la madera es procesada, y con respecto a la madera resultante como desperdicios por clasificación y despunte, esta es acumulada en el patio y es vendida a carpinterías locales o para el mismo uso de los socios de la sociedades civiles.

Si se une los resultados de los desperdicios dejados en campo, por los individuos tumbados (tocón, fuste no comercial y ramas) y los desperdicios en aserradero, el rendimiento real de un individuo aprovechado es en promedio de 25.6% en términos de carbono.

4.3.2.1. Carbono total removido

En la UM Río Chanchich por acción del aprovechamiento forestal se esta removiendo un total de 3,728.91 ton C, aproximadamente 10.19 ton C/ha. Arreaga Gramajo (2002) reporta que el contenido de biomasa por hectárea en vegetación para estos bosques es de 210.69 (dato preliminar). Utilizando el factor de 0.5 recomendado por la IPCC (1996b), se tendría 105.345 ton C/ha. Por lo tanto, por el aprovechamiento se esta reduciendo el stock de carbono en bosque en un 9.67%. De este, el 13.5% se mueve al compartimiento de productos y el resto (86.5%) se queda en proceso de descomposición, liberando carbono.

Por otro lado, en la UM Uaxactún por acción del aprovechamiento se está removiendo un total de 1,222.216 ton C, aproximadamente 3.056 ton C/ha, valor menor al de Río Chanchich, debido a la menor cantidad de individuos aprovechados. Arreaga Gramajo (2002) indica que el contenido de biomasa para esta área es de 161.846 ton/ha (dato preliminar), equivalente a 80.923 ton C/ha. Por acciones del aprovechamiento se redujo el stock de carbono en un 3.78%, del cual 12% pasa a productos y 88% se queda en forma de residuo.

4.3.3. ESCENARIO 2. Aprovechamiento forestal tradicional y aserrio con motosierra

Actualmente, la legislación Guatemalteca no permite la explotación de los bosques naturales de la Reserva Biosfera "Maya" a través de aprovechamientos forestales de tipo tradicional, pero a la vez las entidades responsables no poseen la capacidad administrativa de verificar la correcta utilización del bosque. Si no existen el fomento necesario hacia los usuarios del bosque y el control, es factible que en Petén el bosque sea utilizado de nuevo en forma incorrecta. Cabe destacar que este escenario sería el más dañino para el bosque, por combinar sistemas de producción de muy bajo rendimiento. Este escenario es el menos probable de suceder actualmente.

Para simular la cantidad de carbono que se remueve por actividades de aprovechamiento tradicional, se utilizó siempre como base los mismos aprovechamientos del escenario uno. Aunque en un sistema tradicional, se esperaría que se cortaran todos los individuos aprovechables, sin dejar árboles semilleros y remanencia, para fines comparativos se utilizó la misma cantidad de individuos aprovechados en el año 2002 en las unidades de manejo seleccionadas.

En la figura 11, se presenta el esquema del flujo general de residuos para un individuo en las etapas de aprovechamiento tradicional y aserrio con motosierra. La parte de desperdicios en campo, no varía mucho con respecto al mejorado ya que solo se consideró que la altura media del tocón es de un metro (el rango puede ir entre 80 a 120 cm según algunas observaciones en el campo), por lo que se le añadió el porcentaje del volumen correspondiente y por el otro lado al fuste comercial, se le quitó este valor. Este valor fue estimado a partir de la altura media de tocón medido (0.38 m) y lo que falta para el metro (0.62 m) sustrayendo el volumen correspondiente a esta última medida, del fuste comercial. En la parte de aserrio, se consideró los resultados obtenidos a partir del análisis de las bases de datos discutidas anteriormente.

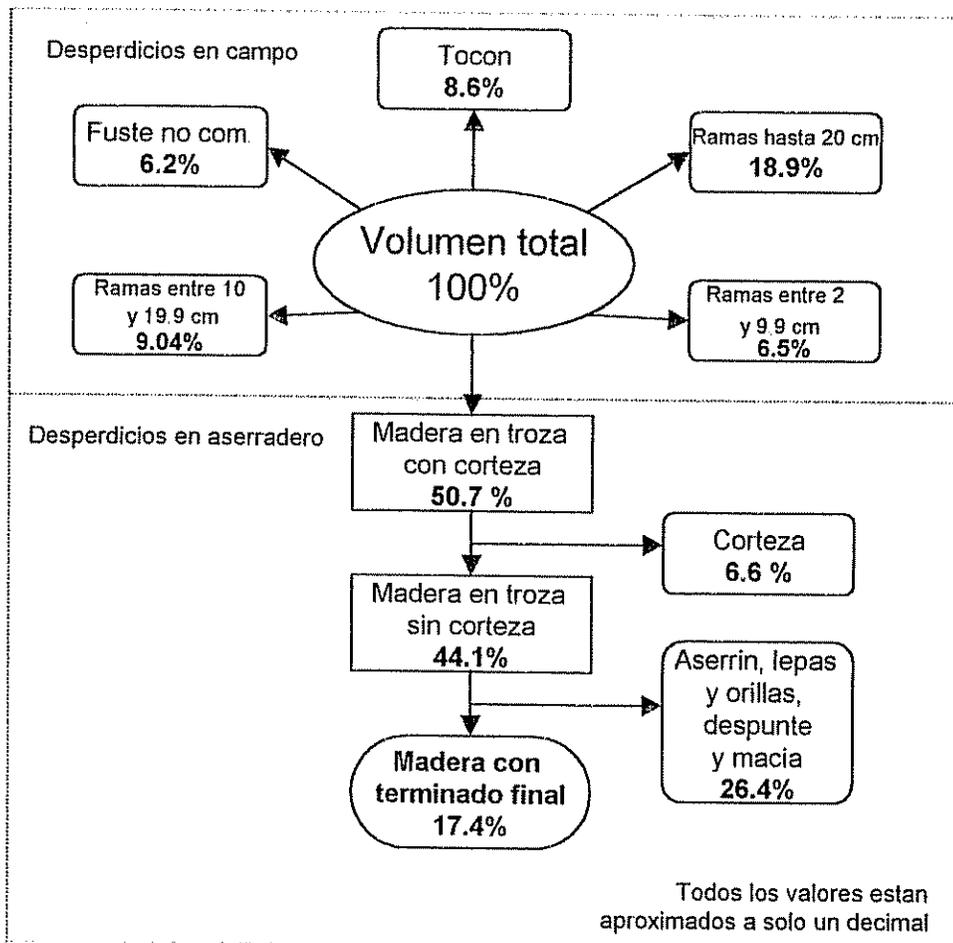


Figura 11. Flujograma de madera de un individuo promedio aprovechado bajo sistema tradicional y aserrió con motosierra.

4.3.4. Residuos en campo

De los árboles tumbados alrededor del 51% del carbono total sería transportado a los sitios de aserrió. La única diferencia respecto al escenario uno es que se le agrega un 2.5% al volumen del tocón que queda como desperdicio, debido a la altura del corte. Bajo un sistema de aprovechamiento tradicional, es factible también la utilización de ramas de buen grosor y con potencial de aserrió, principalmente de especies primarias, pero en este caso se tomara que todo se queda en el bosque, como residuo. En la madera que queda en tocones, fuste no comercial y ramas, para la unidad de manejo Río Chanchich se estaría quedando botados 953.669 ton C y en Uaxactún 255.570 ton C, 2.606 ton C/ha y 0.638 ton C/ha.

La principal diferencia en madera dañada, entre escenarios es el impacto a la masa remanente. En el caso de los sitios de tumba, para estimar el volumen de madera eliminada y carbono removido, se utilizó el tamaño de claro. Los tamaños de claro reportados en literatura son muy variables y dependen del tamaño del árbol y principalmente si se aplico tala dirigida y corta de

lianas. Los tamaños de claro se pueden dividir en tres tipos: pequeños, medianos y grandes. Los pequeños son como los que reporta Contreras Reinoso (1993) de 153.086 m² para un aprovechamiento de pequeña escala, en San Francisco, Petén, para individuos con dap promedio de 62.71 cm. Algunos ejemplos de claros de tamaño medio son los reportados por Contreras y Morales (1995) de un tamaño de 191.7 m², para individuos con dap promedio de 73.3 cm; o el tamaño reportado por Reyes Rodas (1998), de 262.38 m² para un aprovechamiento en la UM San Miguel la Palotada, Petén; o como el reportado por Morales Cancinos (1995) en un aprovechamiento forestal en Bethel, Peten, de 192.72 m², para individuos con diámetro promedio de 73.32 cm. Y por ultimo en claros grandes, Abarca y Picado (1988) reportan un claro de 299.6 m² como promedio para aprovechamientos de bajo impacto en la Península de Osa, Costa Rica; Gálvez Ruano (1996) menciona un área de 344 m² como claro en un aprovechamiento mejorado en San Miguel la Palotada, Petén; y Gretzinger *et al.* (1993) indica un tamaño de claro de 597.89 m² para un aprovechamiento forestal industrial en Petén.

El tamaño de los claros, producto de la caída de los árboles influye sobre el tipo de regeneración encontrada. Los claros grandes favorecen la regeneración de especies pioneras de la primera etapa de sucesión. Para que no se desarrolle esta vegetación, se recomienda evitar los claros grandes (COSEFORMA *s.f.*).

El tamaño de claros en las UM en estudio no supera en promedio los 200 m² (Arreaga 2002) para los aprovechamientos del año 2002. Según la información de tamaño de claro reportada anteriormente, el promedio de los claros grandes es aproximadamente dos veces el tamaño de los claros medianos. En base a esto considerando que los claros de las UM estudiadas, actualmente son de tamaño medio, se considerara como el impacto en sitios de tumba bajo aprovechamiento tradicional, el doble de lo que se esta dando actualmente. En tal situación la biomasa dañada y eliminada por claros seria en promedio 2.888 ton/ha.

Por la caída de los árboles, en Río Chanchich bajo un sistema de aprovechamiento tradicional (sin la aplicación de tumba dirigida y corta de lianas) se estima que se podría dañar hasta el punto de muerte 1,822.772 ton C (4.98 ton C/ha). En el caso de la UM Uaxactún, se estima que se podría estar eliminando y dejando como residuos 389.8 ton C (0.975 ton C/ha).

Respecto a caminos y vías de arrastre Cordero y Meza (1992) citados por Saravia Cruz (1995) indican que en los aprovechamientos tradicionales, una alta densidad de caminos y pistas de arrastre son construidos innecesariamente, llegando a cifras de hasta un 50% mas de lo conveniente. Considerando este porcentaje, se estima que por la construcción de caminos y vías de arrastre, en Río Chanchich se podría estar removiendo y dejando como residuos 1067.58 ton C (2.917 ton C/ha) y en Uaxactún alrededor de 601.617 ton C (1.504 ton C/ha).

Para bacadillas o patios de acopio, Johns *et al.* (1996) consideran que para su construcción en un aprovechamiento tradicional se daña 1.5 veces más que en uno mejorado. Esta relación fue utilizada para estimar el carbono removido por construcción de bacadillas. Por lo tanto, para el caso de Río Chanchich bajo un aprovechamiento tradicional se estaría removiendo 150.7938 ton C (0.412 ton C/ha) y en Uaxactún 97.527 ton C (0.2438 ton C/ha).

4.3.5. Residuos en aserrío

Comúnmente si el aserrío fuese con motosierra, las trozas serían aserradas en un sitio cerca del área de tumba o en las bacadillas. La motosierra utilizada regularmente en Petén para esta actividad, es de la marca Stihl, modelo 070 y es colocada en un marco que es utilizado como soporte en el momento del aserrado. El ancho de corte es de 1 cm aproximadamente.

Del total de biomasa que llega al aserradero solamente el 40% aproximadamente es transformado a tablas. En la figura 12, se presenta la cantidad de carbono desperdiciado y transformado a tabla, observándose que los desperdicios superan ampliamente a la madera útil.

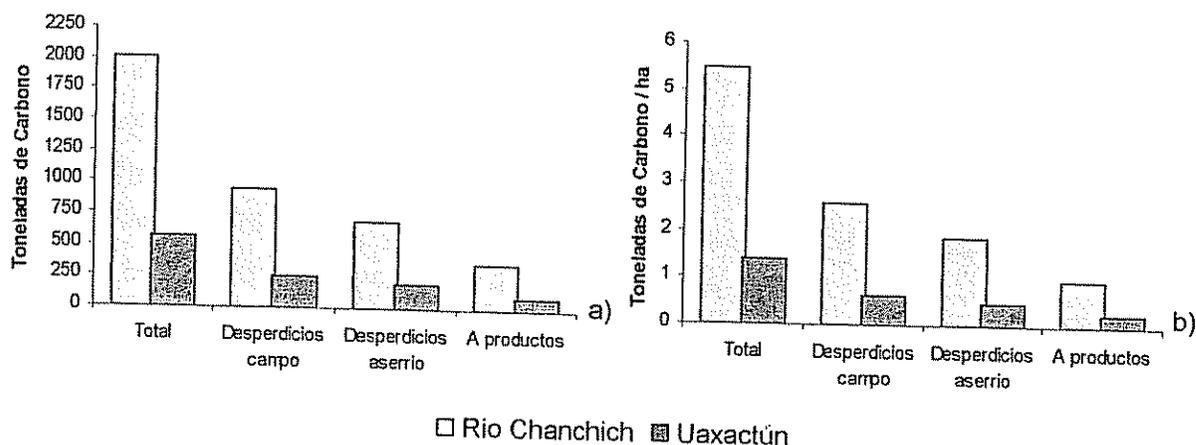


Figura 12. Carbono total en desperdicios y en madera útil en el proceso de aserrío con motosierra, unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactún. a) Expresado en términos generales y b) por hectárea.

La figura anterior, muestra que por residuos en el aserrío se está produciendo en Río Chanchich 688.301 ton C, mientras que para Uaxactún 200.129 ton C. Los productos obtenidos como residuos son la corteza, aserrín, lepas y orillas, macía y residuos de despunte y clasificación. No se considera ningún uso especial para los desperdicios, siendo aun más difícil su utilización comparándolo con el escenario uno, ya que la madera es aprovechada regularmente en las áreas cercanas al sitio de aprovechamiento, lejos de sitios poblados.

Como resultado final del aprovechamiento de un individuo bajo sistema tradicional y aserrío con motosierra, solamente el 18.44% es aprovechado en términos de carbono.

4.3.5.1. Carbono total removido

Si el aprovechamiento del año 2002 en la UM Río Chanchich, hubiese sido bajo un sistema tradicional y de aserrío con motosierra, se estima que se podría estar removiendo un total de 5045.76 ton C, aproximadamente 13.79 ton C/ha. Comparándolo con el escenario uno, sería 1.35 veces más el carbono removido. Según el contenido de biomasa reportado por Arreaga Gramajo (2002) de 210.69 ton y utilizando el factor de 0.5 recomendado por la IPCC (1996b), se estaría reduciendo el stock de carbono en bosque bajo este escenario en un 13.09%. De este porcentaje, el 7.19 % permanecería fijado en productos y el resto 92.81% se queda en forma de residuos, como emisiones diferidas.

Mientras tanto, en la UM Uaxactún, por acción del aprovechamiento tradicional y aserrío con motosierra se estaría removiendo 1650.351 ton C (4.13 ton C/ha), 1.35 veces más carbono que en el escenario uno. Tomando como base el contenido de biomasa reportado por Arreaga (2002) para estos bosques, se estaría reduciendo el stock del carbono en un 5.1%, del cual el 6.39% permanecería fijado en productos y el resto (93.61%) pasaría al compartimiento de residuos forestales.

4.3.6. ESCENARIO 3. Aprovechamiento forestal tradicional y aserrío con aserradero

Este escenario es una combinación entre el escenario 2 y el escenario 1, siendo quizás el escenario más probable de suceder, en el caso se retroceda en los avances obtenidos en el proceso de manejo forestal en las concesiones forestales en Petén, Guatemala. Para su construcción se mezcla la información de los escenarios previos.

En la figura 13, se presenta el flujo general de residuos para un individuo promedio en la etapa de aserrío con aserradero, tomando como base la madera que llega desde un aprovechamiento tradicional, por lo que no se repite el desglose de componentes (ramas, fuste no comercial y tocón) presentado en la figura 12.

4.3.6.1. Residuos en campo

Los residuos en campo de este escenario son similares al desarrollo en el escenario dos, ya que se está utilizando el mismo sistema de aprovechamiento (sistema tradicional), por lo que en la UM Río Chanchich se podría estar produciendo 953.669 ton C por efecto de residuos del individuo (ramas, fuste no comercial y tocón), 1822.77 ton de C por claros de tumba, 1067.58 ton C por construcción de caminos y vías de arrastre y 150.7938 ton C por construcción de patios de acopio, dando un gran total de 3994.813 ton C de residuos en campo (10.92 ton C/ha).

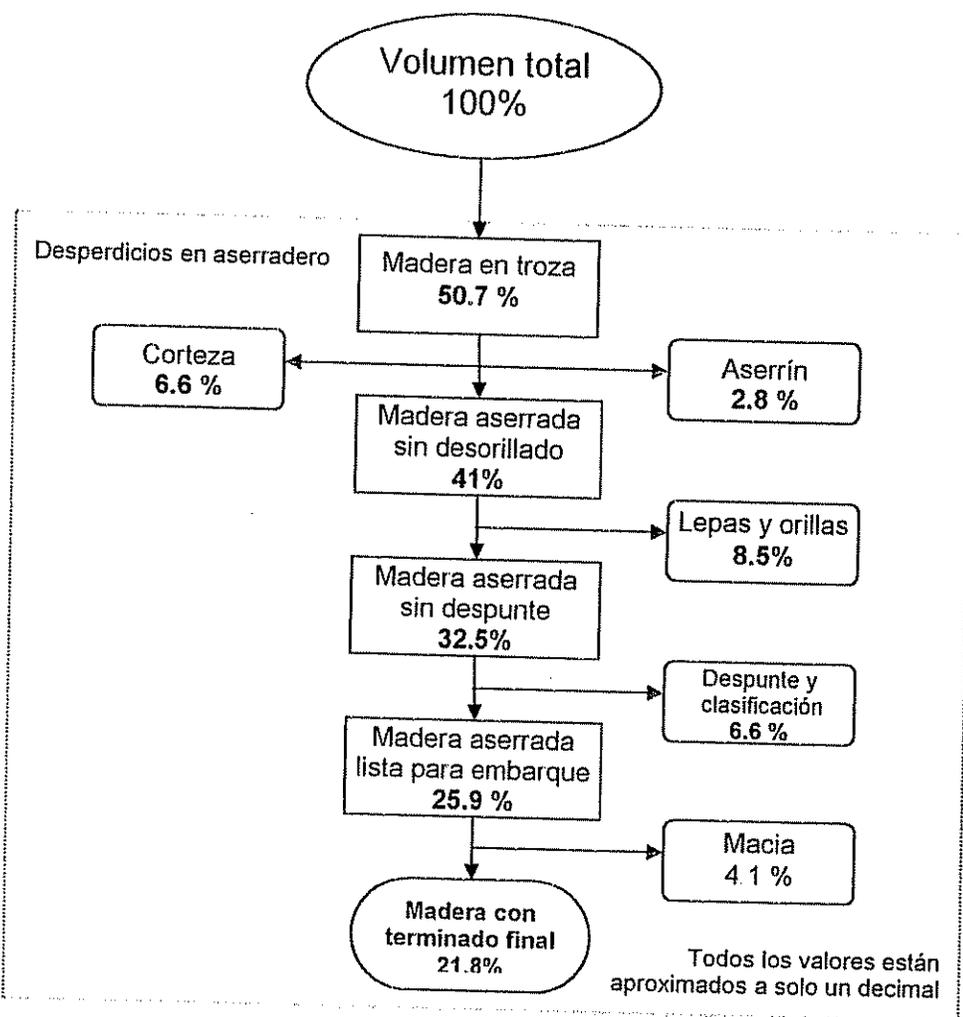


Figura 13. Flujograma de madera de un individuo promedio aprovechado bajo sistema tradicional y aserrío con aserradero.

Para el caso de la UM Uaxactún se estarían produciendo 255.57 ton C de los individuos tumbados, 389.8 ton C por claros de tumba, 601.617 ton C por construcción de caminos y vías de arrastre y 97.527 ton C por bacadillas, dando un valor total de 1344.57 ton C (3.36 ton C/ha).

4.3.6.2. Residuos en aserrío

Utilizando la información del escenario uno, se desarrolló el presente acápite, siempre considerando el uso de aserraderos Wood Mizer, Modelo LT40 Súper hidráulico. La dinámica del carbono se presenta en la figura 14, observándose que en la UM Río Chanchich bajo este escenario se producirían 572.445 ton C, en forma de corteza, aserrín, lepas y orillas, macía y por despunte, mientras que en la UM Uaxactún 166.443 ton C.

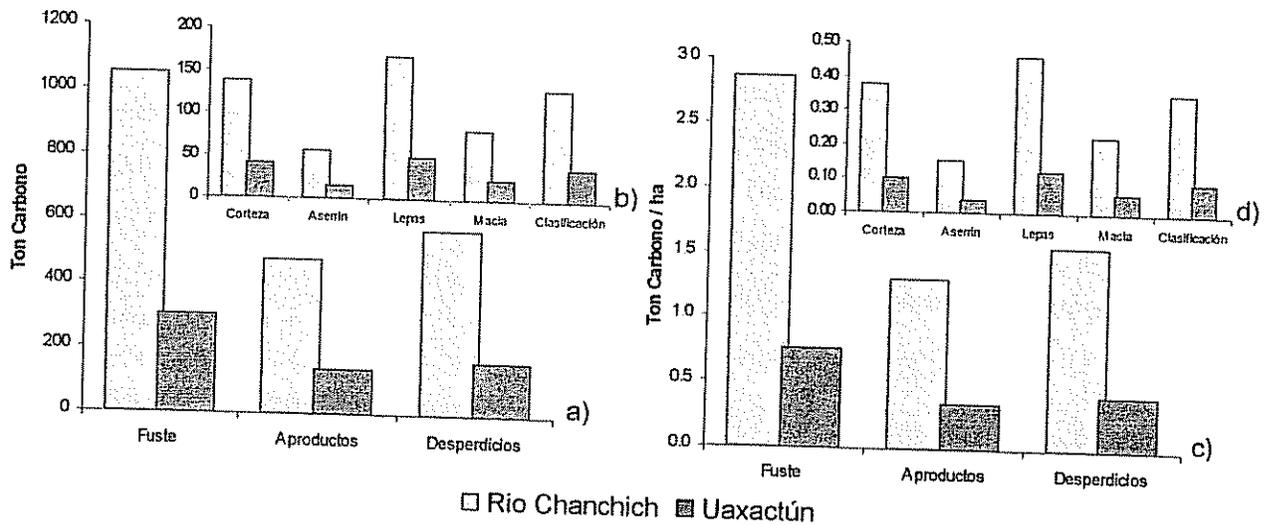


Figura 14 Carbono total en residuos y en madera útil en el proceso de aserrió, del escenario de aprovechamiento tradicional y aserrió con aserradero. a) Expresado en términos generales b) Residuos totales por componente, c) y d) expresado en ton C/ha.

Tampoco se consideraron usos para los residuos bajo este escenario, por lo que bajo un sistema de aprovechamiento tradicional y aserrió con motosierra, el rendimiento real de un individuo es del 24.33%.

4.3.6.3. Carbono total removido

Al realizar el aprovechamiento forestal en la UM Río Chanchich, bajo el escenario tres (aprovechamiento tradicional y aserrió con motosierra), se estima que se podría estar removiendo un total de 5045.76 ton C, cantidad similar al carbono removido en el escenario dos. El porcentaje de reducción del stock de carbono sería de 13.09%, pero la diferencia radica en el porcentaje que permanece almacenado en productos, en este caso del 9.48%. Por otro lado lo que queda en residuos en proceso de descomposición sería el 90.52%. Bajo este sistema, se estaría mejorado la eficiencia del aprovechamiento en un 2.3% en términos de carbono, secuestrado en productos de larga vida útil.

En la UM Uaxactún, bajo este escenario, el carbono que se estaría removiendo es de 1650.351 ton C, disminuyendo el stock de carbono en el bosque en un 5.1%, del cual el 8.43% sería fijado en productos de madera y el 91.57% pasa a emisiones de carbono diferidas por descomposición.

4.3.7. ESCENARIO 4. Aprovechamiento forestal mejorado y aserrío con motosierra

Este cuarto y último escenario también es una combinación entre los escenarios uno y dos. Corresponde a la manera como tradicionalmente se estaba aprovechando los bosques por algunos grupos comunitarios en la Reserva de Biosfera Maya. Como ya se indicó el aserrío de trozas con motosierra, actualmente está prohibido en Petén, pero se desarrolló este escenario con fines comparativos. Al igual que en el escenario tres se mezcla información de los escenarios uno y dos.

En la figura 15, se presenta el flujo de carbono para un individuo promedio en la etapa de aserrío con motosierra, tomando como punto de partida la madera que llega desde un aprovechamiento realizado en forma mejorada. En la figura no se presenta el desglose de componentes del individuo (ramas, fuste no comercial y tocón) ya que es similar al presentado en la figura 11.

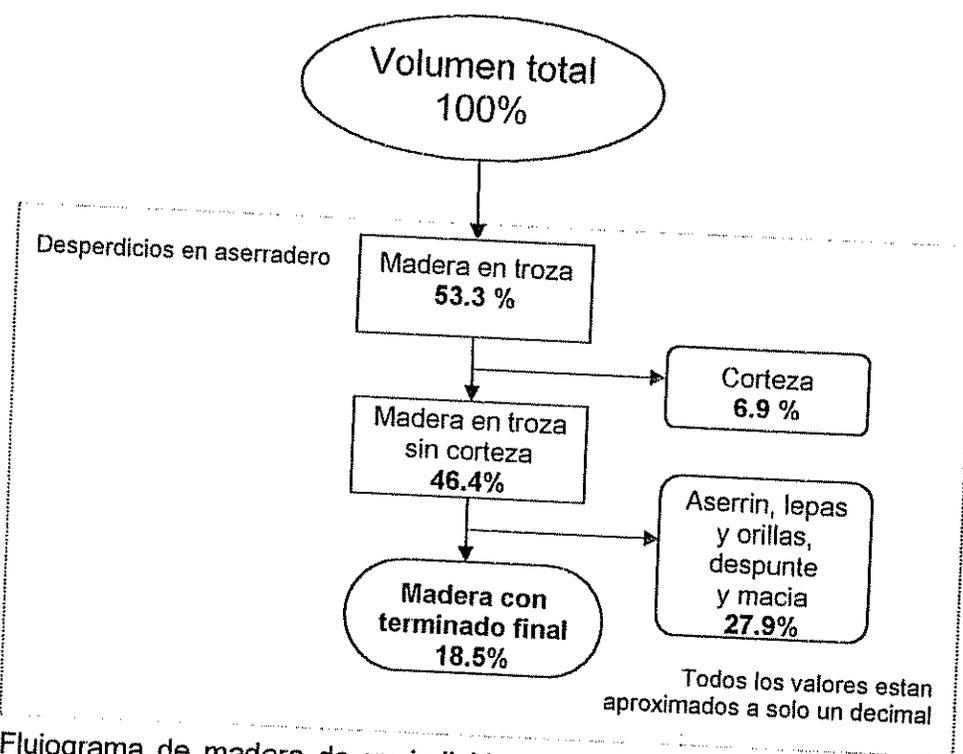


Figura 15. Flujograma de madera de un individuo promedio aprovechado bajo el sistema de aprovechamiento mejorado y aserrío con motosierra.

4.3.7.1. Residuos en campo

Los residuos en campo de este escenario son los mismos que los del escenario uno. En la UM Río Chanchich se estaría dejando en campo un total de 2624.95 ton C, distribuidas en 900.65 ton C por residuos de individuo tumbado (ramas, fuste no comercial y tocones), 912.05 ton C por claros de tumba, 711.717 por la construcción de caminos y vías de arrastre y 100.529 ton C por la construcción de patios de acopio.

Para el caso de la UM Uaxactún el carbono total dejado en forma de residuos en el bosque asciende a 901.228 ton C; 240.152 ton C en ramas, fuste no comercial y tocón, 194.98 ton C por claros de tumba, 401.078 por construcción de caminos y vías de arrastre y 65.0179 ton C por bacadillas.

4.3.8. Residuos en aserrío

Como en el caso del escenario dos, se simulara el aserrío con la ayuda de motosierra y marco. El flujo de carbono en los productos y residuos se presenta en la figura 16, en la que se observa que siempre el carbono que queda en residuos supera al que pasa a productos. Bajo este escenario en la UM Río Chanchich se producirían 711.199 ton C en forma de corteza, aserrín, lepas y orillas, macía y en despunte, mientras que en la UM Uaxactún tan solo 206.79 ton C.

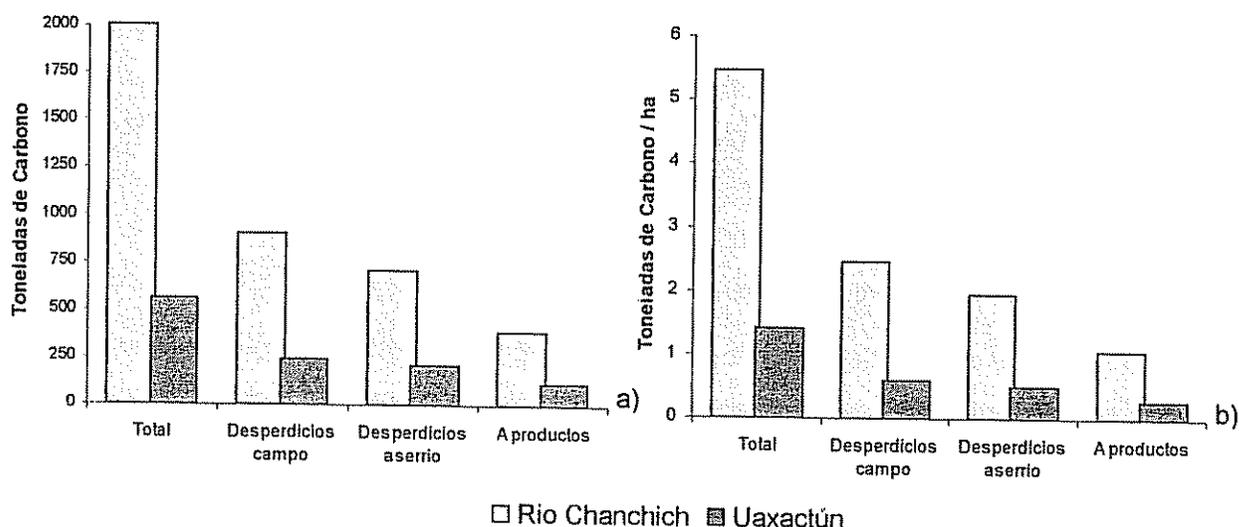


Figura 16. Carbono total en residuos de aserrío y en madera útil, bajo un sistema de aprovechamiento mejorado y aserrío con motosierra, en dos unidades de manejo de la Reserva Biosfera "Maya". a) Expresado en términos generales y b) por hectárea.

Al igual que en los escenarios anteriores tampoco se considero el uso de algún residuo, por lo tanto el rendimiento de un individuo es del 19.97% en términos de carbono.

4.3.9. Carbono total removido

Bajo este escenario para la UM Río Chanchich, se estaría removiendo del bosque un total 3728.91 ton C y para Uaxactún de 1222.216 ton C. Estos valores son similares al escenario uno, la diferencia radica en el porcentaje de carbono que es trasladado a productos de madera. La reducción del stock de carbono en bosque es de un 9.67% del cual el 10.53% continuara fijado en productos de madera y 89.47 % constituirán emisiones diferidas de carbono.

En el caso de la UM Uaxactún, por la remoción de 1222.216 ton C se estaría reduciendo el stock de carbono un 3.78%, del cual 9.34% continuara fijado en productos elaborados en madera y 90.66 % constituirán emisiones diferidas de carbono.

4.4. Comparaciones entre escenarios y unidades de manejo

La figura 17 presenta el resumen de los cuatro escenarios por unidad de manejo, de la dinámica del carbono durante el aprovechamiento y aserrío forestal. Los gráficos de cada escenario están divididos en dos partes, una primera donde presenta el contenido de carbono total antes del aprovechamiento dividido en lo remante y lo que es removido. Observe que para las dos unidades de manejo y para todos los escenarios, el carbono removido es relativamente poco en comparación con el carbono remanente.

Las variables que influyen sobre la cantidad de carbono removido son la intensidad de corta y el tipo de aprovechamiento. Entre unidades de manejo, en Uaxactún se remueve menos carbono debido a la menor intensidad del aprovechamiento (3.5 vrs 0.7 ind/ha). Mientras que utilizando la tecnología de aprovechamiento mejorado se reduce en 3.4 puntos porcentuales el carbono removido en comparación con el aprovechamiento tradicional, en el caso de la UM Río Chanchich; mientras que para Uaxactún la reducción es de 1.3 puntos porcentuales.

La segunda parte de cada gráfica se refiere al desglose de los componentes de donde el carbono es removido durante el aprovechamiento. Estos componentes son: residuos de los individuos (ramas, tocón y fuste no comercial), sitios de tumba, caminos y wines, bacadillas, residuos del aserrío y madera a productos. De todos estos, sólo en el último componente (madera a productos) el carbono permanece almacenado y en el resto el carbono entra en un proceso de liberación por medio de la descomposición.

Obsérvese que para los escenarios con aprovechamientos de tipo mejorado en la UM Río Chanchich donde más se remueve carbono es en los residuos de los propios individuos y en los sitios de tumba, casi en las mismas cantidades. Mientras que en Uaxactún son los caminos y wines y el de residuos de los individuos. En Uaxactún a pesar que es menor la cantidad de individuos extraídos en comparación con Río Chanchich, el área aprovechada es mayor, por lo que la distancia en caminos por individuo es mas grande, provocando que este componente sea importante, para está unidad de manejo en particular. Es importante que las sociedades civiles que manejan las áreas, aprovechen las ramas, para reducir el carbono en proceso de descomposición, así como mejorar aun más las técnicas de tumba y de aperturas de caminos, para reducir el carbono removido y garantizar la permanencia de este en el bosque o en los productos elaborados de madera.

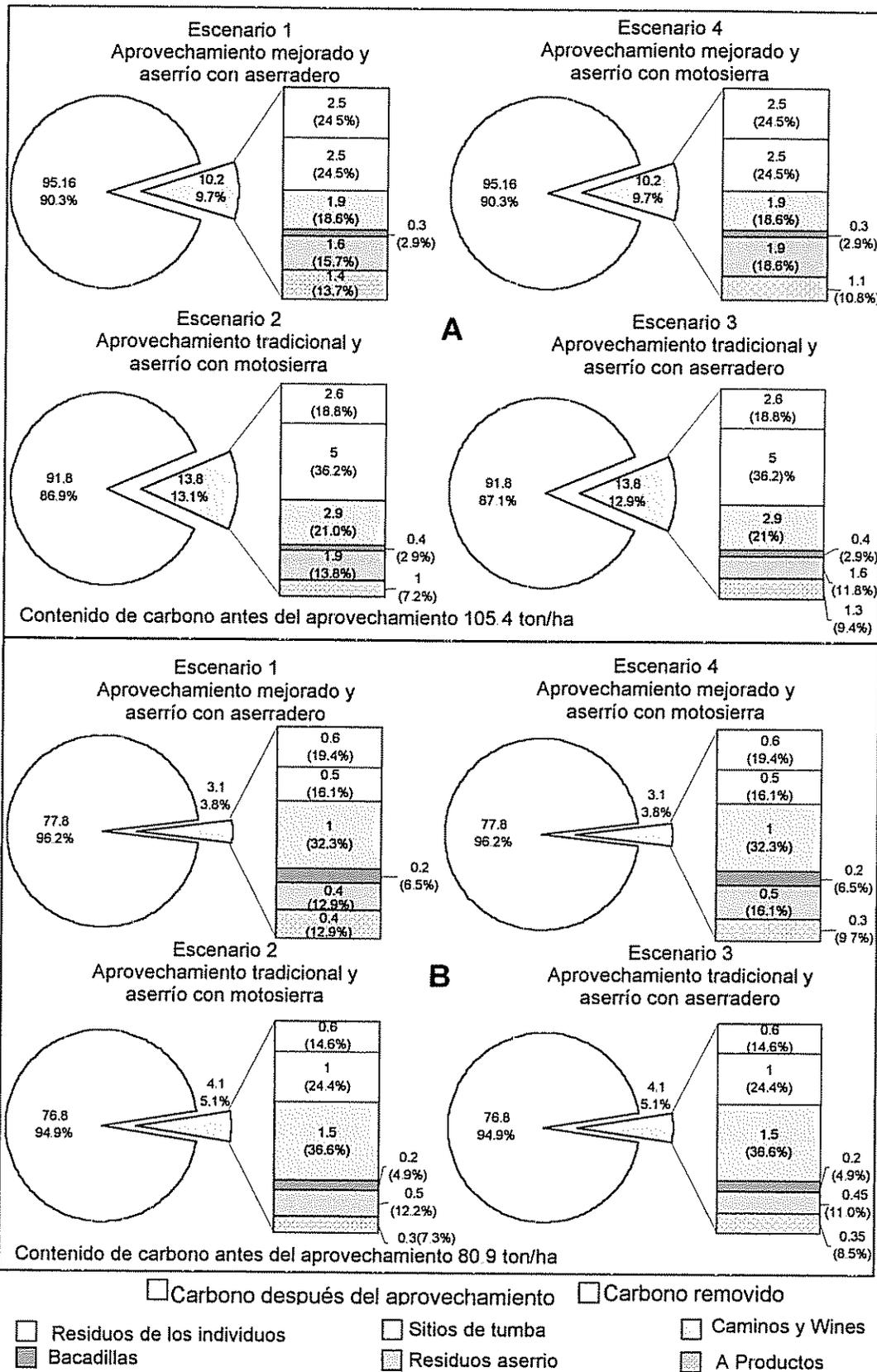


Figura 17. Dinámica del carbono (ton/ha) antes y después del aprovechamiento forestal. A) UM Río Chanchich; B) UM Uaxactún.



Por el otro lado, en los escenarios con aprovechamiento tradicional, en el caso de la UM Río Chanchich, el principal componente es los sitios de tumba, el cual es casi el doble de los componentes residuos de los individuos y del carbono removido por caminos y wines. En el caso de la UM Uaxactún, el principal componente es el de caminos y wines, siendo 1.5 veces más grande que el de residuos de los individuos y el de sitios de tumba. La diferencia con el aprovechamiento de tipo mejorado, lo da la construcción de caminos y la biomasa dañada en los sitios de tumba.

El componente menos importante en campo, es el de patios de acopio, los aportes en el contenido de carbono removido, no son tan importantes.

La tecnología de aprovechamiento incide sobre la cantidad de madera que sale a productos. Como es de esperarse utilizando la motosierra se reduce la eficiencia del rendimiento, aumentando el volumen de madera en residuos. Como se observa en la figura 17, lo que sale a productos es mínimo, comparando con todo lo que permanece como residuos, por lo que es importante tratar de elevar estos rendimientos, para reducir las emisiones diferidas de carbono.

La cantidad de carbono removido y dejado como residuos fue transformado a hectáreas deforestadas, para tener una visión mas clara de la magnitud de los aprovechamientos forestales en la Reserva de Biosfera "Maya". Para tal motivo, se tomaron la cantidad de carbono removido y dejado como residuo por el área de aprovechamiento y se dividido entre el contenido promedio de carbono/ha.

Para el escenario 1 en la UM Río Chanchich, la cantidad de carbono en residuos se estima que es equivalente al carbono removido de 31 Ha (aproximadamente el 8.5% del área) sin contar daños a individuos < 5 cm dap. En el otro extremo el escenario 2, aprovechamiento tradicional y aserrío con motosierra, se estima que el carbono removido equivale a la deforestación de 44 ha (12 % del área total aprovechada)¹⁰. Utilizando técnicas mejoradas y aserrío con motosierra se estaría evitando la deforestación de 13 ha. Estos valores solo son comparativos, ya que por la apertura de claros, el bosque entra en un proceso de recuperación repoblando el área deforestada.

En el caso de la UM Uaxactún, para el escenario 1, el carbono removido y dejado como residuos equivale a la remoción de la cobertura vegetal en 13 ha (3.3 % del área total), mientras que en el escenario 2, equivale a la deforestación de 19 ha (4.7% del área total). Por la baja intensidad de aprovechamiento, la diferencia entre escenarios no es muy alta.

¹⁰ No se consideran los otros escenarios por la similitud con los dos reportados.

5. CONCLUSIONES

1. Los aprovechamientos realizados en las unidades de manejo Río Chanchich y Uaxactún actualmente, son del tipo mejorado, extrayéndose 3.5 individuos/ha y 0.7 individuos/ha respectivamente.
2. Un individuo promedio tiene un volumen de 6.237 m^3 en madera hasta ramas de 2 cm de grosor, contenidas principalmente en el fuste comercial y en ramas $> 20 \text{ cm}$ de grosor. En los aprovechamientos evaluados por cada metro cúbico de madera que es transportada para el aserrío, en el bosque queda como residuo 0.947 m^3 .
3. La ecuación utilizada tradicionalmente en Petén para cubicar fustes comerciales, desarrollada por la FAO, esta siendo mal utilizada por los errores de medición en la altura comercial, lo que hace se estimen volúmenes comerciales erróneos.
4. El modelo de regresión para estimar el volumen comercial en campo a partir del diámetro a la altura del pecho, se ajusta principalmente a individuos entre 50 y 140 cm dap, con un R^2 de 0.96.
5. Por claros de tumba se daña hasta el punto de muerte 0.171 m^2 de área basal, equivalente a 1.44 ton de biomasa por sitio de tumba. Las clases diamétricas mas dañadas son las mas inferiores.
6. El rendimiento del aserradero Wood Mizer LT40, propiedad de la sociedad civil "Impulsores Suchitecos", es del 51.2% a partir de trozas sin corteza. En lepas, orillas y madera resultado de la clasificación y despunte, es donde se produce la mayor perdida. El rendimiento del aserrío con motosierra es de 39.7%, a partir de trozas sin corteza.
7. Actualmente las unidades de manejo, no poseen un uso específico para los residuos producidos durante el aprovechamiento forestal, por lo que la eficiencia real del aprovechamiento es baja, lo que aumenta el volumen necesario a cortar, para suplir las demandas del mercado.
8. El rendimiento real por individuo es bajo para los cuatro escenarios construidos. El escenario más eficiente es el de aprovechamiento mejorado y aserrío con aserradero, alcanzando un rendimiento del 25.6%, mientras que el menos eficiente es el de aprovechamiento tradicional y aserrío con motosierra, con un rendimiento real de 18.4%.

9. En los aprovechamientos evaluados se eliminó la cobertura vegetal en 6.33% del área total, en el caso de Río Chanchich y 3.18% en Uaxactún, por la construcción de bacadillas, wines y caminos. Valores similares a los reportados en literatura para aprovechamientos mejorados, sin embargo se considera que con la mejora en la planificación de caminos y a la disminución de vías de arrastre se reduciría aun más el área impactada.
10. Bajo el sistema de aprovechamiento mejorado y aserrío con aserradero realizado actualmente; en Río Chanchich se esta removiendo del bosque 10.19 ton C/ha (de un contenido tota de 105.35 ton C/ha) de las cuales 1.4 ton C/ha permanece almacenado en madera, solo que en productos. En Uaxactún, bajo las mismas condiciones el carbono removido asciende a 3.1 ton/ha (de un total de 80.9 ton C/ha), permaneciendo en productos 0.4 ton C/ha.
11. Los escenarios que incluyen el aprovechamiento tradicional, son donde se remueve la mayor cantidad de carbono, del contenido original y en los que llega menor cantidad de carbono a productos de madera.
12. La intensidad de corta, la utilización de tala dirigida y la planificación de caminos, son las variables que influyen en la reducción del carbono removido del bosque y en la producción de residuos forestales en campo. Mientras que en el aserrío, la diferencia entre motosierra y aserradero son mínima en término de rendimiento real, pero con la motosierra se logra menor calidad y se disminuye la eficiencia económica.
13. La aplicación de técnicas mejoradas de aprovechamiento y el uso de aserradero para la madera de los bosques provenientes de la Reserva de Biosfera Maya, disminuye el contenido de carbono que es removido del bosque y aumenta el carbono que permanece almacenado en productos.

6. RECOMENDACIONES

1. Las instituciones encargadas del manejo forestal en la Reserva de Biosfera "Maya" (RBM) y los grupos comunitarios concesionarios, deben de buscar los mecanismos necesarios para reducir el volumen de residuos producidos durante el aprovechamiento forestal. Aunque actualmente son pocos en comparación con la biomasa que queda en pie, se puede disminuir aun más el impacto sobre el bosque y aumentar el volumen de madera útil.
2. Los grupos comunitarios deben de organizarse a un nivel superior para aumentar el patio industrial en Petén, para así obtener la maquinaria necesaria para la industrialización de la madera y no venderla en tabla, con lo que lograrían aumentar sus ganancias económicas. Además, una mayor organización les permitirá tener la capacidad de aprovechar residuos como por ejemplo, para la elaboración de pisos, tableros de partículas, entre otros, garantizando así un mayor volumen de carbono almacenado en productos.
3. Se recomienda utilizar el metro stereo para cubicar ramas entre 2 y 10 cm de grosor, utilizando un factor de volumen real de 0.4, no así para ramas mayores de 10 cm.
4. Es necesario que el ente rector del manejo forestal en Petén valide la fórmula que actualmente se utiliza para estimar el volumen de madera comercial por individuo, ya que se esta aplicando de mal forma por problemas en la medición de alturas. De preferencia se debería desarrollar una ecuación a partir del diámetro a la altura del pecho, ya que la altura comercial es una variable con muchos errores de medición.
5. Debe de existir una capacitación constante por parte de los grupos comunitarios en aspectos de tala dirigida y planificación y apertura de caminos ya que son los componentes que más provocan residuos en el bosque.
6. Como continuidad al presente estudio, se debería de estudiar el proceso de descomposición de residuos producidos por el aprovechamiento, para determinar la tasa de liberación de carbono en el tiempo y poder comparar con la tasa de fijación de parte de la vegetación que se reestablece en las áreas disturbadas.
7. Se debe de investigar más en Petén, en aspectos relacionados al carbono y generar información de base ya que aunque Guatemala no es un país considerado como importante por las emisiones de carbono, para el primer período de cumplimiento del Protocolo de Kyoto, debe contar con información para el segundo período de cumplimiento, más aun sabiendo que el manejo de bosques naturales será de nuevo considerado en las negociaciones.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca Mata y Picado Valverde. 1998. Evaluación del aprovechamiento forestal de bajo impacto en la península de Osa, Costa Rica. Informe de práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 58 p.
- Alatorre, G. 1997. El protocolo de Kyoto: un segundo primer paso en el camino hacia la protección del sistema climático planetario (en línea). México DF, MX. Consultado 7 oct. 2001. Disponible en <http://www.laneta.apc.org/gea/kyotocli.htm>.
- Alvarez Godoy, E. 1999. Aprovechamiento de residuos forestales: un aporte al desarrollo social. In Kleinn, C; Köhl, M. eds. Long-term observations and research in forestry (1999, Turrialba, CR). Proceedings of the IUFRO S4.11 International Symposium. CATIE, Turrialba, CR. p.78-89.
- Arreaga Gramajo, WE. 2002. Estimación del carbono almacenado en bosques con manejo forestal sostenible, Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. *Sin publicar*.
- Bámaca Figueroa, EE. 1999. Diagnóstico de la sociedad civil "Organización, Manejo y Conservación", Uaxactún, Flores, Petén. Ejercicio Profesional Supervisado. Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 40 p.
- _____. 2000. Inventario forestal y plan de manejo integrado de la unidad de manejo "Uaxactún", Petén, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 168 p.
- Benedetti Isidore, S; Sibille Martina, AM. 1997. Manuale di identificazione di 45 specie forestali della comunita andina: realizzato in occasione del progetto "ricerca e sperimentazione di nuove specie lignee". Lima, PE, Instituto Nazionale per il Commercio Estero/Instituto Nacional de Investigación Agraria/International Tropical Timber Organization. 112 p.
- Benítez Ramos, RF; Montesinos Lagos, JL. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos. Siguatepeque, HN, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 216 p.
- Binkley, CS. 1990. Climate change and forests. Arizona, US, School of Forestry, Northern Arizona University. 24 p. (William P. Thompson, Memorial Lecture Series XIV).
- Brown, S. 1996a. Mitigation potential of carbon dioxide emission by management of forest in Asia. *Ambio* 25(4):273-278.
- _____. 1996b. Papel actual y potencial de los bosques en el debate mundial sobre cambio climático. *Unasylva* 47(185):3-10.
- _____; Sathaye, J; Cannell, M; Kauppi, PE. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review* 75(1):80-91.
- _____; Gillette, AJR; Lugo, A. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881-902.
- Budowski, G. 1998. Secuestro de carbono y gestión forestal en América Tropical. *Ambientico* 65:8-16.

- Cannel, MGR. 1996. Forests as carbon sinks mitigating the greenhouse effect. *Commonwealth Forestry Review* 75(1):92-99.
- Carpio Malavassi, IM. 1992. Maderas de Costa Rica: 110 especies forestales. San José, CR, Universidad de Costa Rica. 378 p.
- _____; Arroyo Gutiérrez, O; Sánchez Chacon, E. 1996. Anatomía y ultraestructura de 20 especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería. 114 p. (Informe INII-110-96).
- Carrera, F. 1996. Guía para la planificación de inventarios forestales en la zona de usos múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya, Peten, Guatemala. Turrialba, CR, CATIE/Consejo Nacional de Areas Protegidas. 40 p. (Serie Técnica – Informe Técnico No. 275).
- _____; Orozco, L; Sabogal, C. 1996. Manejo de un bosque muy húmedo de bajura: área demostrativa de investigación "Los Laureles de Corinto". *In* Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales (1996, Turrialba, CR). Estudios de caso. Turrialba, CR, CATIE. p.1-11. (Serie materiales de enseñanza no.34).
- Carson, DJ. 1996. Modelling climate change: achievements and prospects. *Commonwealth Forestry Review* 75(1):12-18.
- CATIE/OLAFO. s.f. Bases de datos de aprovechamientos forestales en la UM San Miguel la Palotada años 1995, 1996, 1998 y 1999, y UM La Pasadita años 1997, 1998 y 1999. Flores, Peten, GT.
- Ciesla, WM. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Roma, Italia, FAO. 146 p. (Estudio FAO Montes 126).
- CONAP (Consejo Nacional de Areas Protegidas, GT). 1999. Metodología para el análisis financiero de concesiones forestales en la Reserva de Biosfera Maya: estudio de caso San Miguel la Palotada. Guatemala. 53 p. (Serie co-ediciones técnicas No. 6).
- Contreras, J; Morales, J. 1995. Evaluación de los efectos del aprovechamiento forestal sobre el bosque residual en Bethel, La Libertad, Peten. Petén, GT, CI/Propeten. 34 p.
- COP - Conferencia de las partes del Convenio Marco sobre el Cambio Climático (7,2002, Marrakech, MA). 2001. Segunda parte: Medidas adoptadas por la conferencia de las partes (en línea). UNFCCC. 2v. Consultado el 14 nov. 2002. Disponible en <http://unfccc.int/cdm/documents.html>
- COSEFORMA (Cooperación en los sectores forestal y maderero, convenio costarricense-alemán)/CODEFORSA (Desarrollo forestal sostenible, CR). s.f. Aprovechamiento mejorado del bosque húmedo tropical. Costa Rica, COSEFORMA/CODEFORSA. 14 p.
- Cruz Bolaños, JL. 1998. Rendimiento de aserrío industrial de madera en rollo, de la caoba (*Swietenia macrophylla* King.) unidad de manejo Río Chanchich, Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Investigación Inferencial. Huehuetenango, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Noroccidente. 36 p.

- Chen, H; Harmon, ME; Griffiths, RP; Hicks, W. 2002. Effects of temperature and moisture on carbon respired from decomposing woody roots. *Forest Ecology and Management* 138:51-64.
- Dixon, RK; Brown, S; Houghton, RA; Solomon, AM; Trexler, MC; Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest Ecosystems. *Science* 263:185-190.
- Dubon Bardales, P. 1996. Evaluación comparativa entre el sistema de aserrio manual tradicional con sierra de viento y el aserrio con motosierra con marco en la costa norte de Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, COSTA RICA. 123 p.
- Eamus, D. 1996. Response of field grown trees to CO₂ enrichment. *Commonwealth Forestry Review* 75(1):39-45.
- Echenique Manrique, R. 1970. Descripción, caracterización y usos de 25 maderas tropicales mexicanas. México DF, MX, Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. 237 p. (Series Madera de México).
- Fundación Solar, GT. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Ed. L Márquez. Guatemala, GT, Fundación Solar. 31 p.
- Galvez Ruano, JJ. 1996. Elementos técnicos para el manejo forestal diversificado de bosques naturales tropicales en San Miguel, Peten, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 163 pg.
- Gerwing, JJ; Johns, JS; Vidal, E. 1996. Reducción de desechos en la extracción y la elaboración de la madera: la conservación del bosque en la Amazonía oriental. *Unasylya* 47(187):17-25.
- Grez, R; Gerding, V. 1997. Reciclaje de residuos de origen forestal en Chile: experiencias sobre aprovechamiento de ceniza, aserrín y corteza. *In Workshop Sul-americano sobre usos alternativos de residuos de origen florestal e urbana (1997, Curitiba, BR)*. 1997. *Anais. Curitiba, Parana, BR, Embrapa-Florestas*. p.28-48.
- Hallsworth, EG. 1982. The human ecology of tropical forest. *In Hallsworth, EG (ed.)*. 1982. *Socio-economic effects and constraints in tropical forest management*. United States of America, John Wiley & Sons. p. 1-8.
- Healey, JR; Price, C; Tay, J. 2000. The cost of carbon retention by reduced impact logging. *Forest Ecology and Management* 139:237-255.
- Herrera Alegria, Z; Morales Vargas, A. 1993. Propiedades y usos potenciales de 100 maderas nicaragüenses. Managua, NI, Instituto Nacional de Recursos Naturales y del Ambiente/Cooperación Sueca al Sector Forestal. 171 p.
- Imbach, A. Gálvez, J. 1999. Análisis y perspectivas del manejo forestal en concesiones Comunitarias Petén, Guatemala. Turrialba, CR, CONAP/CATIE/OLAFO, 37 p. (Serie Técnica No. 305).
- IISD (International Institute for Sustainable Development). 2001. Summary of the resumed sixth session of the conference of the parties to the un framework convention on climate change: 16-17 July 2001. *Earth Negotiations bulletin* 12(176):15 p.

- IISD (International Institute for Sustainable Development). 2002. Síntesis de la octava conferencia de las partes de la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático: 23 octubre – 1 de noviembre (en línea). Boletín de negociaciones de la tierra 12 (209):15 p. Consultado 14 nov. 2002. Disponible en <http://www.iisd.ca/linkages/download/pdf/enb12209s.pdf>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Guía para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: libro de trabajo. Eds. JT Houghton, LG Meira Filho, B Lim, K Tréanton, I Mamaty, Y Bonduki, DJ Griggs, BA Callander. Consultado 14 nov. 2002. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm> v.2.
- _____. 1996b. Guidelines for national greenhouse gas inventories: the reference manual. Consultado 14 nov. 2002. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm> v.3.
- Johns, JS; Barreto, P; Uhl, C. 1996. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management* 89:59-77.
- Kukachka, BF. 1968. Propiedades seleccionadas de 52 especies de madera del departamento del Petén, Guatemala. Proyecto de Evaluación Forestal -FAO- FYDEP. 88 p.
- Kyrklund, B. 1991. Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Seforven* (3):40-41.
- López, JA; Litte, EJ; Ritz, GF; Rombold, JS; Hahn, WJ. 1987. Árboles comunes del Paraguay. Asunción, PY, Cuerpo de Paz. 425 p.
- MacDicken, KG. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. s.l., Winrock International Institute for Agricultural Development. 87 p.
- Malhi, Y; Grace, J. 2000. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Tree* 15(8):332-337.
- Manzanero Cano, MA. 1998. Evaluación de los efectos causados por el aprovechamiento forestal en un bosque de la concesión forestal Carmelita, San Andrés, Petén. Informe EPSA. Huehuetenango, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Noroccidente. 104 p.
- Marroquín Juárez, AE. 1995. Informe final de servicios prestados en la Aldea Uaxactún, Flores, Petén. Ejercicio Profesional Supervisado. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 42 p.
- Martin, PH. 1996. Will forest preserves protect temperate and boreal diversity from climate change? *Forest Ecology and Management* 85(1-3):335-341.
- Martínez Gómez, WA. 2002. Evaluación de rendimientos y costos de aserrijo de tres especies maderables en la unidad de manejo Río Chanchich, Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Huehuetenango, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Nor-Occidente. 67 p.
- Méndez Gamboa, J. 1993. Manejo del bosque natural en la Región Huetar Norte de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 2(6):42-49.

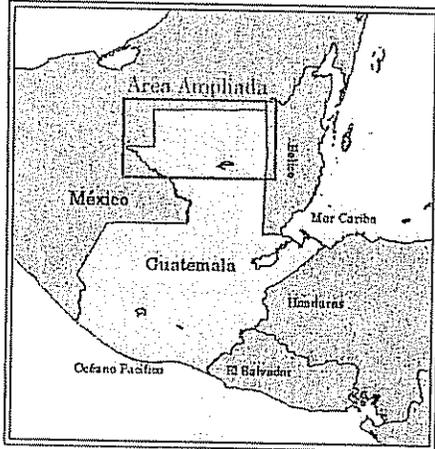
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT. 2001. Primer comunicado nacional sobre cambio climático (en línea). Guatemala, GT. Consultado 14 nov. 2002. Disponible en <http://unfccc.int/text/resource/docs/natc/quanc1.pdf>
- Morales Cancinos, JC. 1995. Evaluación de daños causados por un aprovechamiento forestal selectivo en el bosque de la Cooperativa Bethel, Libertad, Petén. Informe de práctica supervisada. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 p.
- Nabuurs, GJ, Garza-Caligaris, JF, Kanninen, M; Karjalainen, T; Lapveteläinen, T; Liski, J; Masera, O; Mohren, GMJ; Pussinen, A; Schelhaas, MJ. 2001. Manual of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products: CO₂Fix V.2 (en línea). Wageningen, The Netherlands, ALTERRA/UNAM/CATIE/EFI. Consultado 14 jun. 2002. Disponible en <http://www.efi.fi/projects/casfor/presults.html>
- Ortiz, S. 2000. Exhibición de procesamiento y producción de madera dura. Petén, GT, CONAP/CATIE-CONAP/NPV. 11 p.
- Oy, E. 1986. Rural dendro-energy projects. In. FAO. Appropriate forest industries. Roma, IT, FAO. p. 325-339. (FAO Forestry Paper 68).
- Pinard, MA; Putz, FE. 1996. Retaining Forest Biomass by reducing logging damage. *Biotropica* 28(3):278-295.
- Pingoud, K; Savolainen, I; Seppälä, H. 1996. Greenhouse impact of the finnish forest sector including forest products and waste management. *Ambio* 25(5):318-326.
- PNUD/FAO. 1981. Estudio de preinversión sobre desarrollo forestal: informe final. Guatemala. 173 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, CR, Proyecto IICA/GTZ. 561 p. (Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible 1).
- Quiros Herrera, R. 1990. Optimización del proceso de aserrío en madera de cortas dimensiones en el pacífico seco, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 129 p.
- Reyes Rodas, R. 1998. Informa de actividades del aprovechamiento de las unidades de corta "El Chapayal" y "Los Camarones" 1998. Peten, GT, Proyecto CATIE/Olafo. s.p.
- Robert, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma, IT, FAO. 62 p.
- Sabogal, C; Castillo, A; Carrera, F; Castañeda, A. 2001. Aprovechamiento forestal mejorado en bosque de producción: estudio de caso Los Filos, Río San Juan, Nicaragua. Turrialba, CR, CATIE. 56 p. (Informe Técnico No. 23, Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales No. 21).
- Saravia Cruz, HA. 1995. Estado de la población arbórea y del área forestal afectada después de un aprovechamiento forestal tradicional vrs un aprovechamiento mejorado en un bosque húmedo de la región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 126 p.
- SCIS/NPV (Sociedad Civil Impulsores Suchitecos/Fundación Naturaleza para la Vida, GT). 2000. Plan de manejo integrado de la unidad de manejo Río Chanchich, Melchor de Mencos, Petén: primera revisión. Petén, GT, NPV. 133 p.

- Simmons, CS; Tarano T, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala, GT, Instituto Agropecuario Nacional. 1000 p.
- Soliz Saucedo, BG. 1998. Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 113 p.
- Soria, A; Bámaca, E. 1999. Caracterización socioeconómica de la Aldea Uaxactún, Flores, Petén. Guatemala, GT, Fundación Naturaleza para la Vida. 4 p.
- Soto Sandoval, JA. 1999. Evaluación económica y ambiental de los desechos forestales producidos en los aserraderos de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 63 p.
- _____; Aguirre, JA; Mendez, J; Páez, G. 2000. Evaluación económica y ambiental de residuos forestales en aserraderos de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 30:29-33.
- Souza, MR de. 1997. Tecnologías para usos alternativos de residuos florestais: experiencia do laboratorio de productos florestais – ibama na área de utilização de residuos florestais e agrícolas. *In Workshop Sul-americano sobre usos alternativos de residuos de origen forestal e urbana* (1997, Curitiba, BR). 1997. *Anais. Curitiba, Parana, BR, Embrapa-Florestas.* p.49-70.
- Trexler, MC; Haugen, C. 1995. Keeping it green: tropical forestry opportunities for mitigating climate change. Washington, US, World resources institute. 52 p.
- UNEPET (Unidad de ejecución del Plan de Desarrollo Integral del Petén, GT). 1992. Inventario forestal del Departamento de Petén. Guatemala, GT. 98 p.
- Vanclay, JK. 1992. Species richness and productive forest management. *In Oxford conference on tropical forests* (1992, Oxford, US). Proceedings. Frank Miller & Kate Adam eds. Oxford, University of Oxford, Oxford Forestry Institute. p 1-9.
- Verissimo, A; Barreto, P; Mattos, M; Tarifa, R; Uhl, C. 1992. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. *Forest Ecology and Management* 55:169-199.
- Winjum, JK; Brown, S; Schlamadinger, B. 1998. Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science* 44(2):272-284.

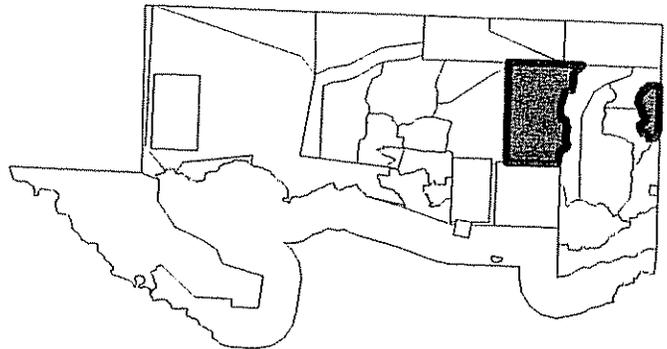
ANEXOS

Anexo 1. Localización de las Unidades de Manejo Uaxactún y Río Chanchich.

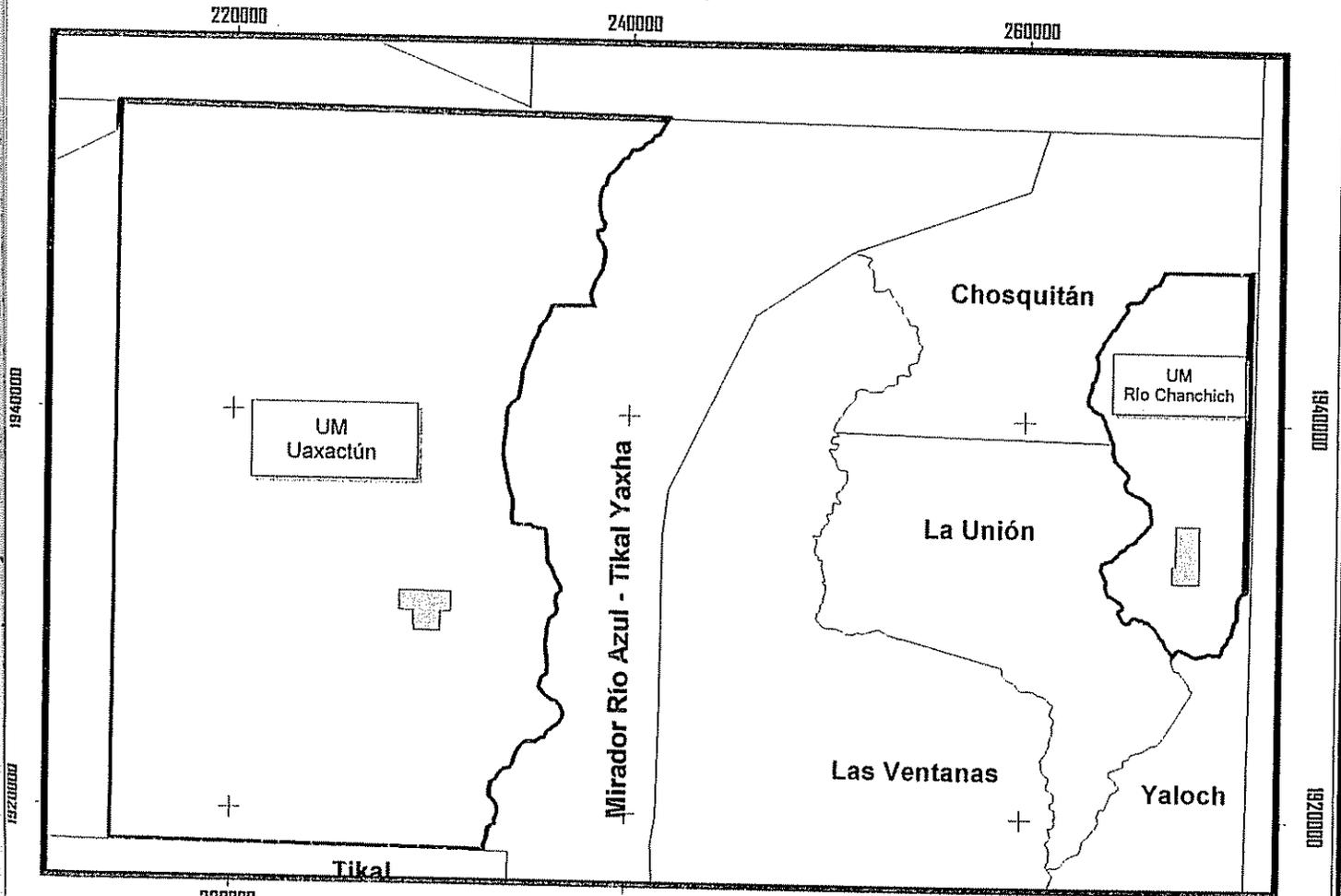
Ubicación de la RBM en Guatemala



Ubicación de las UM Uaxactún y Río Chanchich



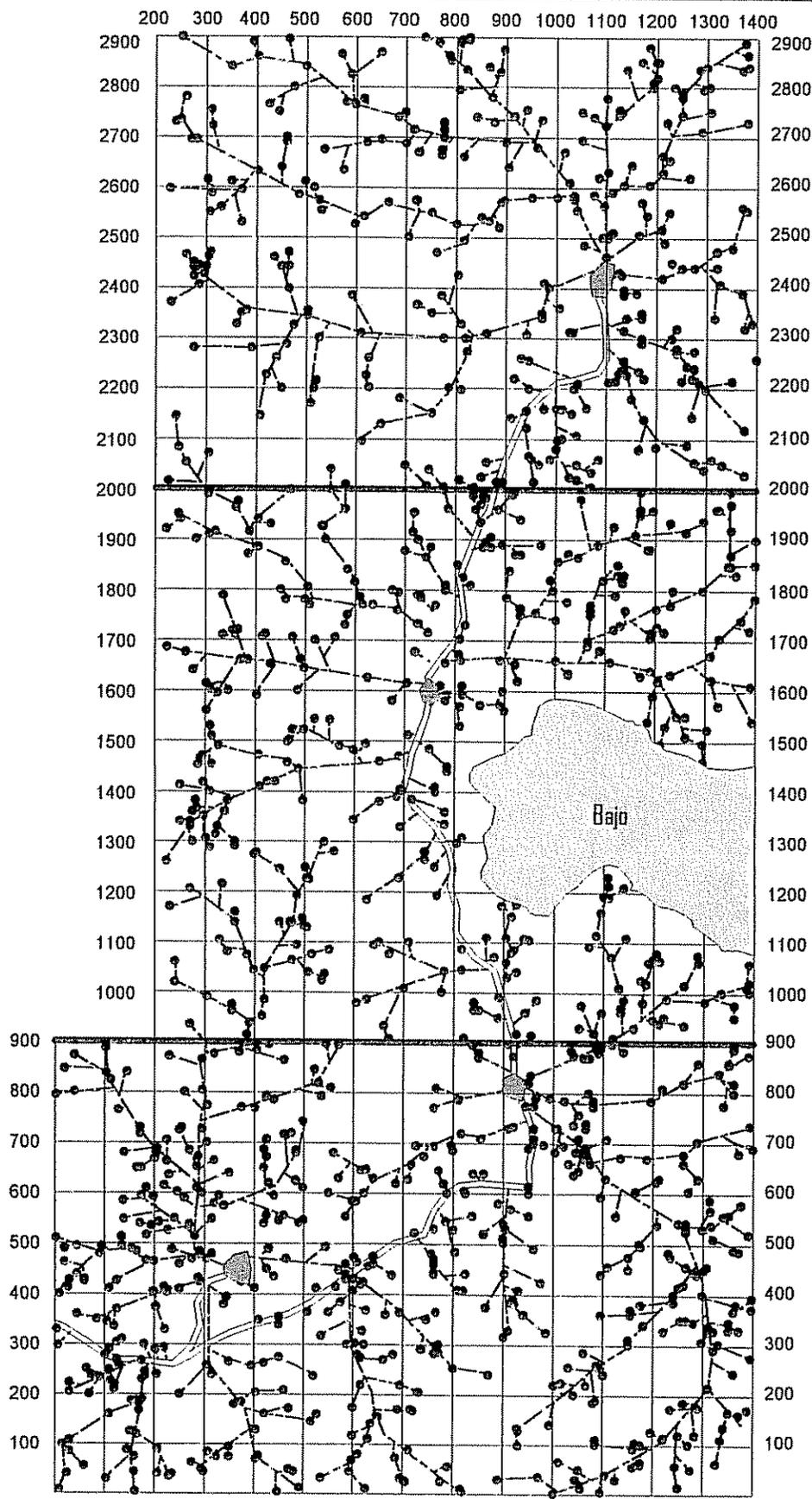
Area ampliada



Escala 1:350,000
3 0 3 6 9 12 Kilometers

Coordenadas en Sistema UTM

REFERENCIA
□ Areas de corta 2,002



ANEXO 2.

**Area de aprovechamiento
anual 2002
Unidad de Manejo
Rio Chanchich**



REFERENCIAS

- Wines
- Camino principal
- Bacadillas
- Arboles aprovechados

Escala 1:13000
100 0 100 200 300 400 Meters

ANEXO 4. Volumen total de los individuos muestreados por componente en m³ y biomasa dañada por sitio de tumba.

No.	Individuo	Especie	UM	dap (cm)	Tocón	Fcomer	Fncom	Ramas >20	Ramas 10-19.9	Ramas 2-9.9	Sitios de tumba (Ton Biomasa)
1	A58	Gesmo	Suchitan	64	0.218	1.889	1.669	1.741	0.528	0.272	3.220
2	A141	Cedro	Suchitan	120	0.726	14.016	0.000	3.887	nm	nm	4.872
3	A173	Caoba	Suchitan	64	0.297	1.623	0.089	0.124	nm	nm	0.026
4	A175	Mano de	Suchitan	55	0.168	1.960	0.357	0.645	nm	nm	2.626
5	A204	Santa María	Suchitan	95	1.031	7.768	0.000	3.031	nm	nm	3.337
6	A227	Manchiche	Suchitan	54	0.129	3.145	0.000	1.092	0.257	0.271	1.286
7	A245	Santa María	Suchitan	55	0.180	2.345	0.000	0.435	nm	nm	0.196
8	A247	Danto	Suchitan	70	0.655	4.015	0.000	1.171	0.473	0.278	0.260
9	A276	Santa María	Suchitan	67	0.563	3.387	0.455	0.745	0.828	0.317	1.652
10	A278	Santa María	Suchitan	66	0.290	4.577	0.205	0.881	0.428	0.402	1.343
11	A413	Mano de	Suchitan	83	0.857	5.764	0.000	2.168	0.617	0.376	1.763
12	A442	Santa María	Suchitan	75	0.393	5.409	0.000	2.764	0.425	0.368	0.743
13	A491	Gesmo	Suchitan	60	0.248	2.552	0.000	0.761	nm	nm	0.061
14	A495	Mano de	Suchitan	54	0.223	2.243	0.000	1.176	nm	nm	0.457
15	A566	Santa María	Suchitan	75	0.432	3.673	0.640	1.376	nm	nm	nm
16	A577	Caoba	Suchitan	75	0.813	5.404	0.000	1.200	nm	nm	0.975
17	A721	Santa María	Suchitan	55	0.277	2.294	0.000	0.902	nm	nm	0.277
18	A771	Santa María	Suchitan	65	0.325	5.500	0.000	1.812	nm	nm	4.491
19	B32	Santa María	Suchitan	58	0.211	2.822	0.996	1.059	0.414	0.216	0.731
20	B43	Caoba	Suchitan	75	0.546	1.220	0.000	0.592	nm	nm	0.542
21	B134	Caoba	Suchitan	85	0.547	5.591	0.000	3.010	1.242	0.602	0.749
22	B147	Malerio	Suchitan	51	0.107	2.397	0.498	0.211	0.126	0.185	1.140
23	B157	Santa María	Suchitan	51	0.153	2.235	0.598	0.113	nm	nm	2.412
24	B192	Santa María	Suchitan	60	0.132	3.385	0.328	1.270	nm	nm	0.849
25	B278	Caoba	Suchitan	78	0.151	4.475	0.714	1.347	0.812	0.678	nm
26	B299	Santa María	Suchitan	56	0.328	2.711	0.803	0.140	nm	nm	0.368
27	B305	San Juan	Suchitan	64	0.198	3.700	0.000	0.607	0.484	0.339	0.474
28	B352	Santa María	Suchitan	51	0.545	3.173	0.837	0.200	0.094	0.131	0.552
29	B421	Santa María	Suchitan	72	0.148	4.222	0.315	0.466	nm	nm	2.496
30	B455	Santa María	Suchitan	50	0.116	1.784	0.439	0.173	nm	nm	0.752
31	B500	Santa María	Suchitan	60	0.138	2.630	0.707	0.030	nm	nm	2.151
32	B548	Mano de	Suchitan	56	0.460	1.928	0.484	0.265	nm	nm	1.593
33	B549	Caoba	Suchitan	72	0.925	4.269	0.000	1.772	0.890	0.552	1.135
34	C31	Santa María	Suchitan	53	0.110	2.022	0.000	0.739	nm	nm	0.382
35	C33	Santa María	Suchitan	52	0.108	2.297	0.000	0.621	nm	nm	0.560
36	C61	Caoba	Suchitan	75	1.245	1.679	0.112	4.833	nm	nm	2.360
37	C79	Caoba	Suchitan	64	0.677	3.124	0.000	nm	nm	nm	0.116
38	C124	Santa María	Suchitan	54	0.247	2.034	0.000	1.077	0.333	0.198	0.373
39	C157	Santa María	Suchitan	59	0.132	3.317	0.000	0.773	nm	nm	0.966
40	C185	Caoba	Suchitan	85	1.188	9.057	0.000	4.946	nm	nm	4.890
41	C214	Canxan	Suchitan	56	0.399	1.974	0.510	0.388	nm	nm	2.257
42	C240	Santa María	Suchitan	55	0.282	2.405	0.475	0.136	nm	nm	0.388
43	C251	Canxan	Suchitan	56	0.607	2.369	0.000	0.638	0.398	0.284	0.989
44	C255	Santa María	Suchitan	51	0.093	1.889	0.049	0.369	0.359	0.503	2.473
45	C261	Santa María	Suchitan	55	0.223	3.123	0.367	0.353	nm	nm	1.068
46	C301	Santa María	Suchitan	64	0.137	1.171	0.157	0.536	nm	nm	1.009
47	C307	Santa María	Suchitan	56	0.104	2.548	0.267	0.416	nm	nm	0.214
48	C335	Danto	Suchitan	61	1.102	3.205	0.850	0.756	nm	nm	1.663
49	C374	Santa María	Suchitan	58	0.182	2.902	0.519	0.102	nm	nm	1.415
50	C384	Manchiche	Suchitan	58	0.109	2.171	0.000	1.398	nm	nm	1.080
51	C386	Santa María	Suchitan	78	0.537	5.761	1.048	3.673	nm	nm	5.041
52	A265	Cedro	Suchitan	90	0.496	6.083	3.794	2.273	nm	nm	nm
53	A257	Cedro	Suchitan	100	0.884	13.785	0.000	0.152	nm	nm	nm

No.	Individuo	Especie	UM	dap (cm)	Tocón	Fcomer	Fncomer	Ramas >20	Ramas 10-19.9	Ramas 2-9.9	Sitios de tumba (Ton Biomasa)
54	A145	Santa María	Suchitan	100	2.058	8.668	1.074	3.845	nm	nm	nm
55	A334	Caoba	Suchitan	120	6.088	28.773	0.000	16.779	nm	nm	nm
56	A267	Caoba	Suchitan	135	4.410	14.115	4.432	13.304	nm	nm	nm
57	B432	Caoba	Suchitan	110	1.698	13.252	0.000	8.507	nm	nm	nm
1	A18	Manchiche	Uaxactun	56	0.128	2.222	0.467	0.945	nm	nm	nm
2	A28	Manchiche	Uaxactun	56	0.100	2.447	0.324	0.841	0.513	0.406	nm
3	A29	Caoba	Uaxactun	66	0.351	2.671	0.511	0.455	nm	nm	nm
4	A43	Manchiche	Uaxactun	52	0.118	1.674	0.169	0.000	nm	nm	nm
5	A58	Caoba	Uaxactun	100	1.142	11.122	0.469	3.303	0.652	0.393	nm
6	A73	Caoba	Uaxactun	100	nm	7.308	1.631	2.474	nm	nm	nm
7	A98	Manchiche	Uaxactun	54	0.101	2.324	1.148	0.000	nm	nm	nm
8	A106	Caoba	Uaxactun	60	0.394	3.244	1.135	0.000	nm	nm	nm
9	A108	Manchiche	Uaxactun	58	0.152	2.375	0.426	1.092	0.834	0.455	nm
10	A110	Caoba	Uaxactun	69	0.350	3.437	0.638	0.444	nm	nm	nm
11	A131	Manchiche	Uaxactun	56	0.232	2.047	0.777	1.219	0.759	0.583	nm
12	A139	Caoba	Uaxactun	96	0.679	5.331	0.678	1.836	0.510	0.393	nm
13	A140	Cedro	Uaxactun	60	0.137	1.868	0.516	0.000	nm	nm	nm
14	A145	Manchiche	Uaxactun	57	0.245	2.134	0.000	0.134	nm	nm	nm
15	A157	Santa María	Uaxactun	51	0.279	2.265	0.099	0.331	nm	nm	nm
16	A158	Manchiche	Uaxactun	60	0.133	2.808	1.100	1.108	nm	nm	nm
17	A162	Caoba	Uaxactun	140	3.107	14.639	0.000	9.427	1.369	0.865	nm
18	A163	Caoba	Uaxactun	67	0.521	2.818	0.309	0.689	0.667	0.502	nm
19	A175	Caoba	Uaxactun	61	0.530	2.284	1.018	0.557	nm	nm	nm
20	A177	Manchiche	Uaxactun	54	0.139	2.050	0.404	0.622	nm	nm	nm
21	B213	Cedro	Uaxactun	64	0.380	3.692	0.514	0.823	nm	nm	nm
22	B215	Manchiche	Uaxactun	62	0.168	3.253	1.606	0.000	nm	nm	nm
23	B223	Caoba	Uaxactun	60	0.594	2.386	0.000	1.331	nm	nm	nm
24	B235	Cedro	Uaxactun	63	0.445	2.804	0.636	1.158	nm	nm	nm
25	B273	Manchiche	Uaxactun	55	0.257	1.994	0.373	0.830	nm	nm	nm
26	B311	Cedro	Uaxactun	61	0.282	3.124	0.000	1.496	1.232	0.597	nm
27	B331	Cedro	Uaxactun	62	0.310	3.040	0.669	0.826	0.384	0.318	nm
28	B546	Manchiche	Uaxactun	62	0.192	2.957	0.320	1.875	nm	nm	nm
29	C270	Manchiche	Uaxactun	56	0.169	2.295	0.000	1.145	nm	nm	nm
30	C288	Cedro	Uaxactun	59	0.454	4.225	0.228	0.044	nm	nm	nm
31	C330	Santa María	Uaxactun	60	nm	3.377	0.205	0.209	0.361	0.416	nm
32	C389	Manchiche	Uaxactun	51	nm	2.044	0.274	0.528	nm	nm	nm
33	C421	Manchiche	Uaxactun	53	0.317	2.268	0.271	0.603	nm	nm	nm
34	D342	Caoba	Uaxactun	60	nm	4.104	0.000	1.965	nm	nm	nm
35	D392	Santa María	Uaxactun	74	0.927	4.573	0.000	2.166	nm	nm	nm
36	D402	Caoba	Uaxactun	60	0.404	2.528	0.000	1.349	nm	nm	nm
37	D404	Caoba	Uaxactun	71	1.037	4.198	0.000	2.392	nm	nm	nm
38	D424	Caoba	Uaxactun	72	0.372	2.609	0.000	2.268	0.824	0.545	nm
39	D480	Manchiche	Uaxactun	66	0.177	2.658	2.219	0.848	0.780	0.364	nm
40	D486	Santa María	Uaxactun	56	0.146	2.791	0.305	0.000	nm	nm	nm
41	D487	Caoba	Uaxactun	81	0.646	4.996	0.000	1.606	nm	nm	nm
42	D488	Caoba	Uaxactun	62	nm	3.768	0.000	0.795	nm	nm	nm
43	D499	Santa María	Uaxactun	56	0.530	2.199	0.000	0.815	nm	nm	nm
44	D517	Manchiche	Uaxactun	59	0.140	2.353	0.210	1.624	0.843	0.641	nm
45	D523	Manchiche	Uaxactun	59	0.227	3.070	0.000	1.189	nm	nm	nm
46	D525	Manchiche	Uaxactun	65	0.332	3.012	0.000	1.637	0.542	0.466	nm
47	D541	Manchiche	Uaxactun	68	0.202	3.132	0.000	2.401	nm	nm	nm
48	D627	Caoba	Uaxactun	62	0.718	2.594	0.000	1.038	nm	nm	nm
49	D547	Manchiche	Uaxactun	54	0.216	1.355	0.930	1.050	nm	nm	nm
50	D657	Santa María	Uaxactun	50	0.495	2.478	0.243	0.000	0.394	0.413	nm

REFERENCIAS:

UM = Unidad de manejo Fcomer= Fusto comercial Fncomer= Fuste no comercial Ramas>20= Ramas mayores a 20 cm grosor
 Ramas 10-19.9= Ramas entre 10 y 19.9 cm de grosor Ramas 2-9.9= Ramas entre 2 y 9.9 cm de grosor nm= no muestreado

ANEXO 5. Biomasa removida por parcela de 25 metros de largo en wines.

No.	Cuadrante	UM	Area Basal m2	Biomasa kg
1	A	Rio Chanchich	0.130	1079.843
2	A	Rio Chanchich	0.018	92.290
3	A	Rio Chanchich	0.055	315.397
4	A	Rio Chanchich	0.060	442.944
5	A	Rio Chanchich	0.090	631.809
6	A	Rio Chanchich	0.007	26.602
7	A	Rio Chanchich	0.017	125.251
8	A	Rio Chanchich	0.097	738.992
9	A	Rio Chanchich	0.149	1160.816
10	A	Rio Chanchich	0.183	1386.045
11	A	Rio Chanchich	0.031	133.235
12	A	Rio Chanchich	0.013	86.792
13	A	Rio Chanchich	0.071	568.760
14	A	Rio Chanchich	0.033	258.894
15	A	Rio Chanchich	0.145	1280.423
16	A	Rio Chanchich	0.054	372.257
17	A	Rio Chanchich	0.088	600.553
18	A	Rio Chanchich	0.055	440.696
19	B	Rio Chanchich	0.038	184.461
20	B	Rio Chanchich	0.018	80.937
21	B	Rio Chanchich	0.117	830.316
22	B	Rio Chanchich	0.146	1157.846
23	B	Rio Chanchich	0.071	419.250
24	B	Rio Chanchich	0.115	868.079
25	B	Rio Chanchich	0.081	496.689
26	B	Rio Chanchich	0.148	1115.855
27	B	Rio Chanchich	0.068	434.706
28	B	Rio Chanchich	0.161	1428.564
29	B	Rio Chanchich	0.138	856.170
30	B	Rio Chanchich	0.165	1406.087
31	B	Rio Chanchich	0.050	238.120
32	B	Rio Chanchich	0.103	651.426
33	C	Rio Chanchich	0.088	556.429
34	C	Rio Chanchich	0.062	452.731
35	C	Rio Chanchich	0.165	1236.726
36	C	Rio Chanchich	0.105	800.235
37	C	Rio Chanchich	0.164	1513.242
38	C	Rio Chanchich	0.056	295.868
39	C	Rio Chanchich	0.172	1333.988
40	C	Rio Chanchich	0.101	662.613
41	C	Rio Chanchich	0.023	127.674
42	C	Rio Chanchich	0.111	665.850
43	C	Rio Chanchich	0.074	418.848
44	C	Rio Chanchich	0.090	623.120
45	C	Rio Chanchich	0.121	834.041
46	C	Rio Chanchich	0.095	883.820
47	C	Rio Chanchich	0.050	304.824
48	C	Rio Chanchich	0.101	780.966
49	C	Rio Chanchich	0.068	351.891
50	C	Rio Chanchich	0.051	277.276

No.	Cuadrante	UM	Area Basal m2	Biomasa kg
1	B	Uaxactún	0.519	5446.464
2	D	Uaxactún	0.082	512.325
3	D	Uaxactún	0.123	936.724
4	D	Uaxactún	0.181	1664.047
5	D	Uaxactún	0.149	1015.256
6	D	Uaxactún	0.267	2209.916
7	D	Uaxactún	0.127	929.878
8	D	Uaxactún	0.086	615.939
9	D	Uaxactún	0.052	378.109
10	D	Uaxactún	0.080	554.754
11	D	Uaxactún	0.062	445.451
12	D	Uaxactún	0.058	308.734
13	D	Uaxactún	0.045	295.699
14	D	Uaxactún	0.106	823.149
15	D	Uaxactún	0.091	628.079
16	B	Uaxactún	0.072	430.542
17	C	Uaxactún	0.058	362.911
18	C	Uaxactún	0.122	918.936
19	C	Uaxactún	0.124	856.387
20	C	Uaxactún	0.053	314.330
21	C	Uaxactún	0.089	575.115
22	C	Uaxactún	0.039	236.487
23	C	Uaxactún	0.145	1011.492
24	C	Uaxactún	0.040	202.248
25	C	Uaxactún	0.073	478.618
26	B	Uaxactún	0.046	381.017
27	B	Uaxactún	0.068	398.710
28	B	Uaxactún	0.046	249.826
29	B	Uaxactún	0.037	185.044
30	B	Uaxactún	0.079	661.836
31	B	Uaxactún	0.014	58.620
32	B	Uaxactún	0.038	290.762
33	A	Uaxactún	0.059	403.028
34	B	Uaxactún	0.035	205.570
35	B	Uaxactún	0.047	371.538
36	B	Uaxactún	0.056	385.348
37	B	Uaxactún	0.083	629.183
38	A	Uaxactún	0.124	1084.465
39	A	Uaxactún	0.143	1043.740
40	A	Uaxactún	0.092	541.461
41	A	Uaxactún	0.088	485.507
42	A	Uaxactún	0.139	1161.002
43	A	Uaxactún	0.055	408.447
44	A	Uaxactún	0.068	580.447
45	A	Uaxactún	0.056	273.809
46	A	Uaxactún	0.048	299.909
47	A	Uaxactún	0.051	298.620
48	A	Uaxactún	0.086	570.314
49	A	Uaxactún	0.055	333.913
50	A	Uaxactún	0.071	516.404

ANEXO 6. Rendimiento en aserradero y volumen de los residuos por componente.

No.	Especie	dap1 cm	dap2 cm	largo cm	Voltroza m3	Vol útil m3	Vol macia m3	Vol aserrín m3	Vol lepas m3	Vol despunte m3
1	Caoba	54	57	4.9	1.186	0.704	0.100	0.075	0.189	0.118
2	Caoba	58	62	3.8	1.066	0.577	0.073	0.057	0.249	0.110
3	Caoba	50.5	57	5.6	1.275	0.729	0.128	0.078	0.296	0.045
4	Caoba	45	42	3.3	0.491	0.245	0.047	0.037	0.093	0.069
5	Caoba	39.5	42	2.58	0.337	0.147	0.031	0.025	0.079	0.055
6	Caoba	55	50	3.19	0.692	0.325	0.042	0.038	0.220	0.066
7	Caoba	48.5	54	2.63	0.544	nc	0.064	0.039	0.072	nc
8	Caoba	49	53	2.19	0.448	nc	0.040	0.030	0.094	nc
9	Caoba	72	76	2.87	1.235	0.610	0.117	0.069	0.183	0.256
10	Caoba	51.5	46	3.43	0.642	0.308	0.067	0.043	0.093	0.131
11	Caoba	45	48	3.28	0.558	0.276	0.056	0.042	0.079	0.105
12	Caoba	53	56	2.96	0.685	0.325	0.062	0.041	0.140	0.116
13	Caoba	46.5	47	3.05	0.524	0.262	0.060	0.036	0.084	0.082
14	Caoba	54.5	60	2.18	0.557	nc	0.056	0.036	0.059	nc
15	Caoba	52.5	55	3.04	0.690	nc	0.090	0.052	0.053	nc
16	Caoba	51.5	48	3.77	0.727	0.378	0.061	0.042	0.154	0.091
17	Caoba	49.5	55	3.1	0.660	nc	0.064	0.041	0.109	nc
18	Caoba	77	74	2.7	1.209	0.590	0.130	0.067	0.174	0.249
19	Caoba	80	64	3.17	1.299	0.537	0.113	0.079	0.391	0.178
20	Caoba	87	83	1.95	1.101	nc	0.115	0.084	0.160	nc
21	Caoba	49	56	3.81	0.828	nc	0.080	0.053	0.110	nc
22	Caoba	71	80	4.32	1.927	1.063	0.193	0.123	0.215	0.334
23	Caoba	69.5	72	3.96	1.557	0.903	0.122	0.077	0.271	0.184
24	Caoba	77.5	74	3.64	1.641	nc	0.135	0.115	0.125	nc
25	Caoba	65	71	3.37	1.226	nc	0.102	0.060	0.182	nc
26	Caoba	56	62	4.2	1.141	0.617	0.091	0.064	0.183	0.186
27	Caoba	71.5	77	5.01	2.172	1.307	0.179	0.113	0.317	0.257
28	Caoba	62	68	4.57	1.520	0.857	0.129	0.083	0.233	0.218
29	Caoba	40.5	49	5	0.793	0.409	0.068	0.055	0.118	0.143
30	Caoba	72	82	4.5	2.104	nc	0.181	0.115	0.199	nc
31	Caoba	91.5	89	3.95	2.527	1.545	0.220	0.116	0.314	0.332
32	Caoba	61.5	82	5.25	2.149	1.008	0.176	0.125	0.423	0.416
33	Caoba	53.5	61	4.68	1.199	0.650	0.103	0.073	0.181	0.192
34	Caoba	64	70	3.67	1.286	nc	0.119	0.070	0.097	nc
35	Caoba	63	75	5.4	2.034	1.099	0.163	0.086	0.431	0.256
36	Caoba	68	76	3.47	1.407	0.715	0.118	0.076	0.235	0.262
37	Caoba	49	56	3.01	0.654	nc	0.064	0.040	0.090	nc
38	Caoba	103.5	95	5.17	4.007	nc	0.321	0.245	1.085	nc
39	Caoba	80	73	4.21	1.927	1.075	0.163	0.097	0.233	0.359
40	Caoba	59.5	69	3.13	1.020	nc	0.101	0.062	0.143	nc
41	Caoba	85.5	81	4.75	2.587	1.596	0.232	0.090	0.326	0.343
42	Caoba	77.5	70	3.11	1.332	nc	0.145	0.077	0.103	nc
43	Caoba	74.5	72	3.5	1.466	nc	0.126	0.078	0.150	nc
44	Caoba	92	94	3.17	2.154	1.236	0.173	0.154	0.172	0.419
45	Caoba	73.75	81	2.9	1.357	0.656	0.137	0.070	0.303	0.192
46	Caoba	50.75	41	5.8	0.960	0.494	0.101	0.069	0.163	0.133
47	Caoba	101	103	3.15	2.574	1.513	0.231	0.153	0.411	0.267
48	Caoba	102.8	92	3.72	2.765	1.518	0.223	0.151	0.355	0.519
49	Caoba	96.5	107	3.5	2.854	nc	0.146	0.156	1.231	nc
50	Caoba	66.5	76	4.84	1.938	1.072	0.161	0.109	0.284	0.313
51	Caoba	68	56	5.23	1.582	0.810	0.147	0.099	0.215	0.311
52	Caoba	40	45	5	0.712	0.400	0.066	0.050	0.097	0.098
53	Caoba	58	55	2.91	0.730	nc	0.054	0.039	0.131	nc
54	Caoba	61.5	55	3.16	0.845	nc	0.081	0.048	0.132	nc

No.	Especie	dap1 cm	dap2 cm	largo cm	Voltroza m3	Vol útil m3	Vol macia m3	Vol aserrín m3	Vol lepas m3	Vol despunte m3
55	Caoba	63.5	62	3.14	0.971	0.502	0.078	0.059	0.286	0.046
56	Caoba	71.5	64	3.12	1.120	nc	0.101	0.063	0.105	nc
57	Caoba	55.5	63	2.81	0.778	nc	0.067	0.044	0.092	nc
58	Caoba	60.5	60	2.99	0.852	0.432	0.067	0.045	0.250	0.058
59	Caoba	46.5	44	3.68	0.586	0.307	0.049	0.042	0.139	0.049
60	Caoba	76.5	76	2.53	1.155	nc	0.097	0.059	0.133	nc
61	Caoba	56.5	44	5.1	1.027	nc	0.087	0.059	0.141	nc
62	Caoba	51.5	62	3.15	0.796	0.339	0.064	0.045	0.192	0.155
63	Caoba	65.5	65	2.52	0.843	nc	0.071	0.046	0.119	nc
64	Caoba	46.5	45	3.07	0.505	nc	0.045	0.035	0.044	nc
65	Caoba	50.5	47	3.14	0.587	nc	0.053	0.040	0.068	nc
66	Caoba	50.5	50	4.72	0.927	nc	0.080	0.058	0.223	nc
67	Caoba	88.5	72	2.99	1.528	nc	0.132	0.078	0.230	nc
68	Caoba	56.5	62	3.18	0.879	nc	0.103	0.062	0.094	nc
69	Caoba	53.5	57	3.22	0.766	0.380	0.068	0.048	0.136	0.134
70	Caoba	54.5	50	3.21	0.683	nc	0.059	0.043	0.093	nc
71	Caoba	48	46	2.95	0.507	nc	0.042	0.031	0.089	nc
72	Caoba	51.5	53	1.74	0.373	nc	0.038	0.028	0.083	nc
73	Caoba	98	87	4.1	1.382	nc	0.121	0.102	0.138	nc
74	Caoba	58	59	2.95	0.793	nc	0.077	0.064	0.099	nc
75	Caoba	56	69	3.44	1.067	nc	0.088	0.067	0.200	nc
76	Caoba	53	60	2.98	0.750	nc	0.068	0.050	0.059	nc
77	Caoba	103.5	121	2.94	2.927	nc	0.211	0.126	0.440	nc
78	Caoba	112.5	108	2.54	2.415	1.286	0.194	0.118	0.367	0.450
79	Caoba	75	74	2.55	1.104	0.528	0.124	0.068	0.168	0.216
80	Caoba	70	68	2.42	0.899	nc	0.111	0.060	0.109	nc
81	Caoba	55.5	52	2.59	0.583	nc	0.054	0.036	0.107	nc
82	Caoba	53.5	65	2.7	0.745	nc	0.064	0.042	0.160	nc
83	Caoba	73.5	77	2.74	1.219	0.595	0.081	0.053	0.369	0.122
84	Caoba	48.5	41	3.9	0.618	nc	0.048	0.042	0.229	nc
85	Caoba	52	41	3.48	0.599	0.254	0.056	0.043	0.170	0.076
86	Caoba	34.5	42	3.82	0.443	0.217	0.040	0.036	0.136	0.015
87	Caoba	54	50	5.4	1.138	nc	0.088	0.067	0.313	nc
88	Caoba	41	50	3.35	0.550	0.240	0.053	0.038	0.120	0.099
89	Mano de León	64.5	70	2.75	0.971	nc	0.067	0.047	0.429	nc
90	Mano de León	58	66	2.8	0.842	0.360	0.064	0.053	0.282	0.082
91	Mano de León	41	57	4.86	0.930	0.404	0.060	0.054	0.382	0.030
92	Mano de León	65	86	3.6	1.643	nc	0.078	0.058	0.921	nc
93	Santa Maria	68.5	60	3.87	1.260	0.637	0.151	0.085	0.178	0.209
94	Santa Maria	48	46	3.82	0.663	0.361	0.071	0.052	0.138	0.040
95	Santa Maria	77	55	3.83	1.347	0.522	0.142	0.073	0.357	0.253

REFERENCIAS

nc= no considerado en la estimación del rendimiento final (luego del despunte)