

# Contenido del carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biosfera Maya

**Edgar Estuardo Bámaca Figueroa**

Smart Wood Program/Rainforest Alliance  
ebamaca@smartwood.org

**Markku Kanninen**

CIFOR.m.kanninen@cgiar.org

**Bastiann Louman**

CATIE.blouman@catie.ac.cr

**Lucio Pedroni**

CATIE.lpedroni@catie.ac.cr

**Manuel Gómez**

CATIE.mgomez@catie.ac.cr

En términos de carbono, el aprovechamiento removió del bosque 10,2 tC/ha, de las cuales solamente 1,4 tC/ha (13,7%) terminaron en productos de aserr .



Fotos: Edgar Bámaca y William Arreaga.

## Resumen

El aprovechamiento y transformación industrial de la madera de bosques naturales tropicales genera grandes cantidades de residuos leñosos que, al quemarse o descomponerse, producen emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el principal gas con efecto invernadero. La importancia del carbono en los residuos de los procesos de aprovechamiento y aserrío fue evaluada mediante un estudio en la unidad de manejo Río Chanchich, Petén, Guatemala en el 2002. Para un total de 57 árboles -el 4,5% de los árboles aprovechados- se estimó el volumen de madera y la biomasa dañada por la caída de cada árbol. La biomasa removida por la apertura de caminos y patios de acopio se estimó a partir del tamaño de las áreas abiertas. En el aserradero se estimó el volumen útil y de residuos de 95 trozas.

El volumen promedio por árbol aprovechado fue de 6,24 m<sup>3</sup>, y solamente el 53,3% de la madera llegó al aserrío; el resto quedó como residuos en el bosque. Del volumen de las trozas aserradas, un 87% correspondió a madera; el rendimiento del aserrío fue de 51,2% del volumen sin corteza, utilizando un aserradero portátil.

En términos de carbono, el aprovechamiento removió del bosque 10,2 tC/ha, de las cuales solamente 1,4 tC/ha (13,7%) terminaron en productos de aserrío.

**Palabras claves:** aprovechamiento forestal; aserrado; residuos de explotación forestal; dióxido de carbono; efecto invernadero; Reserva de la Biosfera Maya; Petén; Guatemala.

La responsabilidad humana por el calentamiento global observado en el último siglo es cada vez más evidente. Las emisiones de gases que provocan el efecto de invernadero (GEI) se consideran como la principal causa antropogénica del cambio climático. El GEI más importante liberado por las actividades humanas es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual ha aumentado de concentración en un 25% a partir de la revolución indus-

trial (Ciesla 1996). Las principales fuentes emisoras de CO<sub>2</sub> son la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de la tierra (Dixon *et al.* 1994, Trexler y Hauyen 1995, Ciesla 1996, Fundación Solar 2000).

El manejo de los bosques (naturales o plantaciones) ofrece la oportunidad de mitigar, en parte, los efectos del cambio climático provocado por las emisiones de GEI debido a que los árboles pueden absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera mediante la

fotosíntesis. Sin embargo, los árboles son solamente depósitos temporales de carbono; al cortarlos, quemarlos, o al morir por causas naturales, parte del carbono es liberado nuevamente a la atmósfera a través de los procesos de descomposición o quema (Ciesla 1996, Fundación Solar 2000).

En la zona de uso múltiple de la Reserva de Biosfera Maya (RBM), en Petén, Guatemala, está permitido el aprovechamiento de especies ma-

## Summary

### **Carbon content of forest products and residues generated by timber harvesting and sawmilling in the Mayan Biosphere Reserve.**

The use and industrial transformation of timber from tropical natural forests produce big quantities of wood residues that generate emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) when burned or decayed. The greenhouse effect is mainly produced by CO<sub>2</sub> emissions. Carbon content in wood residues was evaluated in the forest management unit Rio Chanchich, Petén, Guatemala. Wood volume per individual and the biomass damaged by felling of each tree were estimated for 57 trees (4,5% of the trees cut). Biomass eliminated by road and stockyard construction was estimated according to size of the cleared area. Useful volume and residues from 95 wood logs were estimated at the sawmill.

Average volume per individual was 6,24 m<sup>3</sup>. Only 53,3% of the wood arrived at the sawmill while the rest remained as residues in the forest. From that amount, 87% was timber; milling efficiency was 51,2%, using a portable sawmill.

In terms to carbon, logging removed 10,2 tC/ha from the forest, but only 1,4 tC/ha (13,7%) ended up in wood products.

**Keywords:** logging; sawed; residues of logging; carbon dioxide; greenhouse effect; Mayan Biosphere Reserve; Petén; Guatemala.

derables, si se emplean técnicas de impacto reducido. Aún así, el aprovechamiento genera una gran cantidad de residuos, la mayoría de los cuales no se utilizan y quedan en el campo, donde se descomponen y liberan el CO<sub>2</sub>.

Con este estudio se busca estimar la cantidad de carbono almacenado en diferentes productos y residuos forestales resultantes de los procesos de aprovechamiento y aserrío en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. La evaluación se realizó en la concesión Río Chanchich, manejada desde 1998 por la Sociedad Civil Impulsores Sutchitecos. Con los resultados de este estudio se espera contribuir a la generación de información útil para la promoción del manejo forestal sostenible y para el diseño de proyectos de secuestro y reducción de emisiones de GEI en el sector forestal.

## Metodología

### Características biogeográficas del área de estudio

La unidad de manejo (UM) Río Chanchich tiene una extensión de 12 173 ha (SCIS/NPV 2000) y se ubica en la zona de vida bosque húmedo Subtropical Cálido (bh-St(c)). La precipitación media anual es de 1530 mm, los cuales se concentran entre los meses de junio a octubre; durante el resto del año se da una estación seca muy marcada. La temperatura oscila entre 20 y 32°C, con un promedio de 25°C. La humedad relativa promedio es de 77% y la evapotranspiración de 79,8 mm (UNEPET 1992).

### El aprovechamiento forestal en el área de estudio

En el año 2002, en la UM Río Chanchich se aprovecharon 1263 individuos pertenecientes a 16 especies en una extensión de 366 ha. El volumen extraído fue de 7545,4 m<sup>3</sup>

(20,61 m<sup>3</sup>/ha). El área basal total por hectárea fue de 21,16 m<sup>2</sup>/ha a partir de 10 cm dap (SCIS/NPV 2000); el aprovechamiento extrajo 1,12 m<sup>2</sup>/ha, el 5,3% del total.

### Definición de la población y tipo de muestreo utilizado

Los árboles a extraer en el área de corta del 2002 conformaron la población estudiada. Para definir las unidades de observación se empleó el Muestreo Aleatorio Simple de los árboles a cortar, ponderado por la abundancia por especie.

### Recolección de datos

A partir del Plan Operativo Anual se seleccionaron 57 árboles comerciales<sup>1</sup> (4,51% del total) con dap entre 50 y 135 cm, pertenecientes a diez especies; la especie con más individuos seleccionados fue *Callophyllum brasiliense* (49,1%), seguida por *Swietenia macrophylla* (21,1%).

Luego de la tumba, los árboles fueron cubcados en el campo por componentes: tocón, fuste comercial, fuste no comercial, ramas con más de 20 cm de grosor, ramas entre 19,9 y 10 cm de grosor y ramas entre 9,9 y 2 cm de grosor.

El volumen de madera en tocónes se determinó utilizando la fórmula del neiloide truncado (Prodan *et al.* 1997). Además, se pesaron los bocados resultantes por la acción de la tumba, con la ayuda de una balanza tipo romana.

El volumen del fuste comercial, fuste no comercial y ramas >20 cm de grosor se estimó con la fórmula de Smalian. Para el fuste comercial, se consideraron secciones de dos metros de largo; para el fuste no comercial y las ramas >20 cm de grosor no importó el largo, siempre y cuando las secciones fuesen rectas. El punto de separación entre el fuste comercial y no comercial quedó a

criterio del tumbador; por lo general, este punto corresponde al inicio de las ramas, aunque depende también de la calidad fitosanitaria del fuste y del diámetro menor apto para el aserrío.

Del 30%<sup>2</sup> de los individuos de la muestra original, se estimó el volumen de las ramas entre 2 y 19,9 cm de grosor. Para esto se clasificaron las ramas en dos grupos de grosor: entre 10 y 19,9 cm y entre 2 y 9,9 cm. Las ramas fueron cortadas procurando secciones rectas no mayores a un metro de largo. Las secciones fueron cubcadas midiendo el diámetro al centro y el largo; el volumen se estimó por medio de la fórmula del cilindro.

La misma muestra de 57 individuos se utilizó como base para determinar el volumen de madera dañada por la tumba y el arrastre. En cada sitio de tumba se consideraron todos los individuos dañados dentro o fuera del claro, con dap >5 cm; la clasificación empleada fue la siguiente: 1) Levemente dañado, 2) Severamente dañado, 3) Muy severamente dañado, 4) Derribado y descopado. Luego de la tumba, en parcelas de 25 m de largo, por el ancho de la vía de arrastre de cada individuo seleccionado, se tomó información de los individuos derribados, muertos y muy severamente dañados. El valor promedio fue extrapolado a todas las vías construidas. Para los caminos principales se consideró el volumen de residuos a partir del área real de aperturas.

Por último, para estimar los residuos producidos durante la apertura de los patios de acopio, se realizó el censo de los individuos a partir de 5 cm dap, antes y después de la apertura. Se midió el área de apertura y se estimó el volumen removido por unidad de área. En total, se establecieron cuatro patios de acopio.

<sup>1</sup> Para aumentar el tamaño de la muestra se recolectó información de 50 individuos en el área de corta 2002 de la UM Uaxactún, también ubicada en la Zona de Uso Múltiple de la RBM. En estos individuos estuvieron representadas cuatro especies, principalmente *Lonchocarpus castilloi* (42%) y *Swietenia macrophylla* (34%), con diámetros entre 50 y 140 cm. El tratamiento que recibieron fue el mismo. Para disminuir el error de muestreo de algunos parámetros se unieron los resultados de todos los individuos (107 en total).

En el aserrío se utilizó un método indirecto de medición para estimar el volumen de residuos. Los tipos de residuos considerados fueron: lepas, aserrín, orillas y otros (secciones que presentan daños por rajaduras, huecos u otros defectos). En esta etapa se seleccionaron 95 trozas al azar; el 92,6% fueron de la especie *Swietenia macrophylla*, 4,2% de *Dendropanax arboreum* y 3,2% de *Calophyllum brasiliense*. Cada troza fue cubicada mediante la fórmula de Smalian, 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 del aserrío principal y del desorillado, a partir del volumen de madera eliminado en cada corte (longitud de corte \* ancho de diente de la sierra \* ancho de corte). El volumen de lepas y orillas se consideró como de un solo tipo. La estimación del volumen de estos residuos se realizó por diferencia (al volumen total de la troza se sustrajo el volumen de aserrín y el volumen de madera aserrada luego del desorillado). El volumen de madera útil final se estimó a partir de información publicada (Martínez 2002).

#### Estimación del carbono contenido en los residuos

Los residuos producidos durante los procesos de aprovechamiento y aserrío fueron valorados en unidades de carbono. Primero se estimó la cantidad de biomasa seca que corresponde a un volumen dado, luego se multiplicó ese valor por el peso específico básico de cada especie estudiada, y se convirtió la biomasa seca total a unidades de carbono; para ello se utilizó el factor de conversión de biomasa a carbono recomendado por IPCC (1996): 0,5.



La construcción de camino y vías de arrastre produjo residuos que generaron un total de 1,94 tC/ha

#### Análisis de datos

Se realizaron análisis de correlación y regresión para relacionar las variables dasométricas con el volumen de residuos. Los datos extremos o atípicos se eliminaron para no perjudicar las ecuaciones generadas. Los criterios para la selección de las ecuaciones fueron:

- Lógica y simplicidad del modelo
- Coeficiente de determinación ( $R^2$ )
- Coeficiente de variación
- Análisis de variancia
- Supuestos de normalidad.

El conjunto de datos obtenidos se describió utilizando estadística descriptiva.

#### Resultados y discusión

##### Volumen total por individuo

Los individuos en estudio tienen un volumen total promedio de  $6,24 \text{ m}^3$  ( $d.e.^3=1,936 \text{ m}^3$ ;  $n=29$ ;  $dap$  promedio=65,6 cm), el cual se distribuye de la siguiente forma: 6% madera en tocón, 53% madera en fuste comercial, 6% madera en fuste no comercial, 19% madera en ramas >20 cm de grosor y 16% madera en ramas

entre 19,9 y 2 cm de grosor. El volumen total de madera presenta una correlación aceptable con la variable  $dap$  ( $r=0,91$ ;  $Pr>r<0,0001$ ;  $n=29$ ), por lo que se desarrolló la ecuación que aparece en la figura 1, ajustada principalmente a árboles comerciales entre 50 y 100 cm  $dap$ .

##### Estimación de volumen de madera comercial en el campo

El volumen de madera comercial por individuo aprovechado fue de  $3,72 \text{ m}^3$  ( $d.e.=2,659 \text{ m}^3$ ,  $n=103$ ); o sea, aproximadamente el 53,3% del volumen total por individuo. Ese porcentaje es similar al reportado por Soliz Saucedo (1998) para los bosques húmedos tropicales de Bolivia, donde aproximadamente el 60% de la biomasa total se ubica en el tallo. La madera fue arrastrada con tractor forestal hasta los patios de acopio y desde allí, al punto final de aserrío.

Para poder estimar el volumen comercial en el campo se generó una ecuación de regresión (Figura 2) en la que sólo se incluyó el  $dap$ , debido a que la altura no fue medida con aparatos forestales. Se encontró

<sup>2</sup> Con el fin de mejorar la precisión de los estimados, a esta submuestra se agregaron los datos provenientes de 15 individuos de la UM Uaxactún.

<sup>3</sup> d.e.=desviación estándar

que el dap presenta una alta correlación con el volumen de madera comercial ( $r=0,937$ ;  $Pr>r=<0,0001$ ;  $n=103$ ); se hicieron ajustes principalmente para individuos de especies comerciales entre 50 y 140 cm dap.

#### Residuos por individuo

Se calcula que las actividades del aprovechamiento forestal generan, en promedio,  $3,054 \text{ m}^3$  ( $d.e.=1,213 \text{ m}^3$ ;  $n=30$ ) de residuos por cada árbol aprovechado, lo que equivale a un desperdicio del 46,57%. Más del 30% de ese volumen se encuentra en las ramas de diámetros mayores; si tal madera se aprovechara, se podría reducir considerablemente la cantidad de desperdicios dejados en el bosque. En el área evaluada, esa madera no se utilizó por falta de tiempo y/o recursos para procesarla y sacarla, además de que tal aprovechamiento es poco rentable.

Se encontró una correlación aceptable entre el volumen total de residuos por individuo en el campo, con la variable dap ( $r=0,79$ ;  $Pr>r=<0,0001$ ;  $n=30$ ); además, el volumen de residuos correlaciona positivamente con el volumen total del individuo (Figura 3). Después de probar diferentes modelos de regresión, se escogió el que se presenta en la figura 4, el cual se ajusta principalmente a individuos entre 50 y 100 cm dap.

Por cada metro cúbico de madera en troza, listo para ser arrastrado al patio de acopio, queda un residuo de  $0,947 \text{ m}^3$ , sin considerar los árboles dañados por la tumba. En el cuadro 1 se presenta el volumen de madera en cada grupo de residuos, por metro cúbico de madera comercial en troza.

**Residuos producidos por la tumba de los árboles evaluados**  
La mayor intensidad de individuos muertos por la acción de la caída se dio en las clases diamétricas inferiores (5-20 cm), debido a su mayor abundancia y susceptibilidad. Simi-

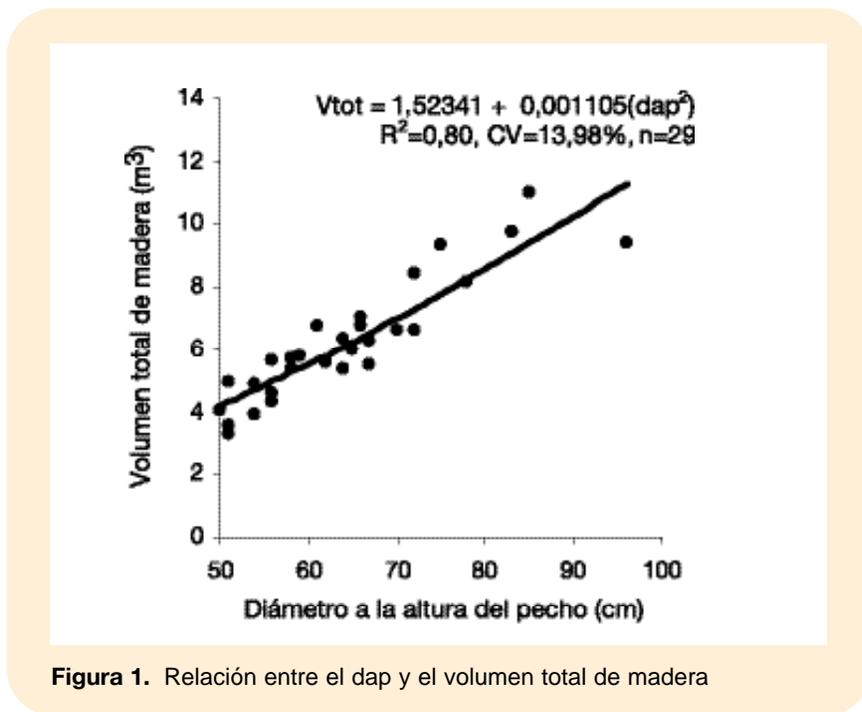


Figura 1. Relación entre el dap y el volumen total de madera

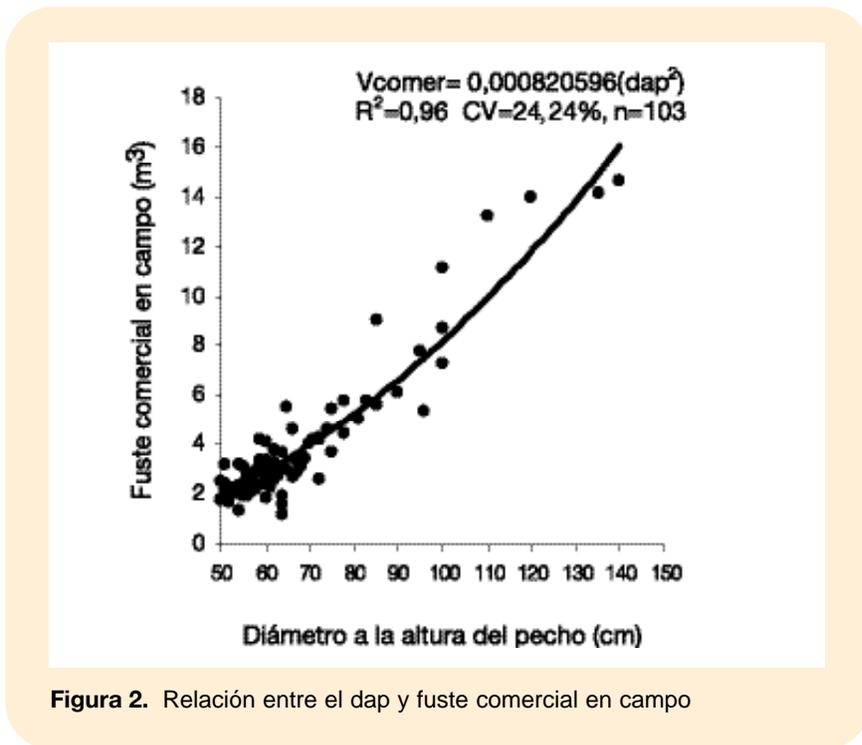


Figura 2. Relación entre el dap y fuste comercial en campo

lar situación reporta Morales (1995) en un aprovechamiento forestal en la cooperativa Bethel, Petén, Guatemala. En promedio, cada individuo tumbado eliminó un área basal de  $0,33 \text{ m}^2$  del árbol mismo, y  $0,17 \text{ m}^2$  ( $d.e.=0,137 \text{ m}^2$ ,  $n=49$ ) por descope

total o derribo (92%), o por lesiones muy graves a individuos remanentes. Esto equivale, aproximadamente, a la muerte de 10 individuos (36 ind/ha) con diámetro promedio de 12,6 cm (rango de dap = 5 - 50,5 cm).

**Cuadro 1.**Volumen de madera en residuos (m<sup>3</sup>/grupo) en relación con un metro cúbico de madera útil en troza

Tocón	Fuste no comercial	Ramas >20 cm	Ramas 19,9 - 10 cm	Ramas 9,9 - 2 cm	Residuos 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

La intensidad de corta en el sitio fue de 3,5 ind/ha; o sea que 0,60 m<sup>2</sup>/ha son eliminados por la caída de los árboles aprovechados. Este valor es similar al reportado por Manzanero (1998) en un aprovechamiento forestal en Carmelita, Petén, Guatemala, quien indica que se eliminaron 0,62 m<sup>2</sup>/ha. El área basal eliminada tiene valores muy variables, dependiendo principalmente del tipo de bosque y la intensidad del aprovechamiento.

La biomasa se calculó a partir del diámetro. Se utilizó la siguiente ecuación, generada por Brown *et al.* (1989) para bosques en zonas de vida húmeda tropical, con los siguientes valores:  $R^2 \text{ adj}=0,78; n=168; CME^4=0,0618$ :

$$Y=38,4908 - 11,7883(\text{dap}) + 1,1926 (\text{dap}^2)$$

Donde:

Y = Biomasa por individuo (kg/árbol)

dap = Diámetro a la altura del pecho en cm

La biomasa promedio eliminada por sitio de tumba fue 1,44 ton/sitio ( $d.e.=1,3 \text{ ton}; n=49$ ).

**Residuos producidos en el aserrío de la muestra estudiada**  
Antes de que las trozas ingresaran al aserradero, fueron descortezadas para evitar el desgaste de las cintas, ya que en la corteza quedan residuos de lodo y piedrecillas. Para el cálculo del volumen en troza sin corteza se tomó un grosor promedio

de corteza de 2,2 cm ( $n=74$ ), determinado con base en los datos de tumba de individuos de seis especies durante el aprovechamiento que en 1995 se hiciera en San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala (CATIE/Olafo s.f.).

Del total de la madera aprovechada, el 86,94% ( $d.e.=2,71\%; n=95$ ) ingresó al aserrío como madera sin corteza. Esto se consideró como el 100% de la madera de insumo para calcular el rendimiento y los residuos en la fase de aserrío. Se utilizó un aserradero portátil marca Wood Mizer, modelo LT40 Súper Hidráulico, con ancho de corte de 0,16 cm.

Del volumen total de madera en troza que ingresó a la cadena de aserrío, se perdió 6,06% ( $d.e.=0,943\%; n=95$ ) en forma de aserrín; 18,44% ( $d.e.=8,801\%; n=95$ ) como lepas y orillas; 8,93% ( $d.e.=1,398\%; n=95$ ) como 'macía' (sobremedida en cada tabla (0,5 cm) para que el comprador final pueda darle el acabado, sin perder el grosor original). Hasta este punto, del 100% de madera en troza sin corteza, el 33,43% ( $d.e.=8,039\%; n=95$ ) se ha convertido en residuos, y aún faltan el despunte y los cortes de clasificación preliminar. Para calcular la pérdida durante este último paso, se utilizó la ecuación generada para estimar el volumen de madera aserrada en pies tablares a partir de mediciones en troza de *Swietenia macrophylla*, la cual fue desarrollada por Martínez (2002) en un estudio en la misma zona. A partir de esta ecuación se es-

timó que el volumen de madera en tabla, resultante del aserrío de una troza, es en promedio el 51,23% ( $d.e.=5,405\%; n=51$ ), y 14,2% ( $d.e.=4,886\%; n=51$ ) el porcentaje promedio de residuos causado por el despunte y clasificación preliminar. Se obtiene, entonces, un valor de rendimiento del 51,23%, muy similar al promedio de 48,5% reportado por Soto *et al.* (2000) para 21 aserraderos en la región Huetar de Costa Rica. Cruz (1998) reporta un rendimiento del 43,4% para el aserrío de 122 trozas de *S. macrophylla* con el uso de un aserradero de banda, de ancho de 1/8" (3,1 mm).

Con base en el volumen útil total, se determinó una relación metro cúbico en troza vrs.pies tablares de 217. El porcentaje final de residuos fue de 48,77% ( $d.e.=5,405\%; n=51$ ). Esto quiere decir que por cada metro cúbico de madera en tabla listo para el embarque, se genera 0,974 m<sup>3</sup> ( $d.e.=0,218 \text{ m}^3; n=51$ ) en residuos.

Las ecuaciones de regresión permitieron estimar el volumen de madera aserrada y el volumen de residuos hasta después del despunte. Las ecuaciones fueron construidas a partir de trozas con diámetro promedio entre 38 y 100 cm y largos entre 2,54 y 5,8 m.

Volumen útil =  
 $-0,0862747 + 0,000047 (\text{prom}^2 * \text{largo})$   
 $R^2=0,9755, CV=9,368\%, n=51$

Volumen resd =  
 $0,08801627 + 0,0000317036 (\text{prom}^2 * \text{largo})$   
 $R^2=0,9375, CV=11,52\%, n=51$

<sup>4</sup> CME= Cuadrado medio del error

<sup>5</sup> Proceso en el cual a las trozas se les elimina la corteza.

Donde:

Volumen útil = Volumen de madera aserrada en  $m^3$

Volumen resd = Volumen de residuos (macia, aserrín, lepa y desorillado, despunte y clasificación) en  $m^3$

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

Largo = largo de la troza en metros

### Estimación del carbono en residuos producidos por el aprovechamiento y aserrío forestal

El flujo general de residuos producidos en las diferentes etapas del aprovechamiento y aserrío se presenta en la figura 5. Del 100% del volumen total de un individuo, solo el 24,4% se convierte en madera lista para su comercialización; el resto son residuos que en su mayor parte se desperdician, lo que representan emisiones diferidas de carbono.

**Desperdicios en el campo.** Según Arreaga (2002) los bosques de Río Chanchich tienen una biomasa de 209,4 ton/ha (aproximadamente 104,7 tC/ha). Utilizando las ecuaciones generadas, se procedió a estimar el volumen de madera que se pierde durante todo el ciclo.

La acción de tumba de los árboles significa la extracción de 5,48 tC/ha; o sea, alrededor de 2004,62 tC en toda el área anual de aprovechamiento (AAA). Del total de carbono removido, se quedan botados 2,46 tC/ha (900,65 tC/AAA); principalmente en ramas >20 cm de grosor (Figura 6a), las cuales pudieran ser procesadas para evitar la pérdida del carbono almacenado. En orden de importancia, le siguen las ramas entre 2 y 19,9 cm de grosor, fuste no comercial y tocón. Se calcula que los daños causados por la caída de los árboles generó un total de 2,49 tC/ha (912,05 tC/AAA).

Para la extracción de las trozas hasta los patios de acopio, se construyeron alrededor de 46 415 metros

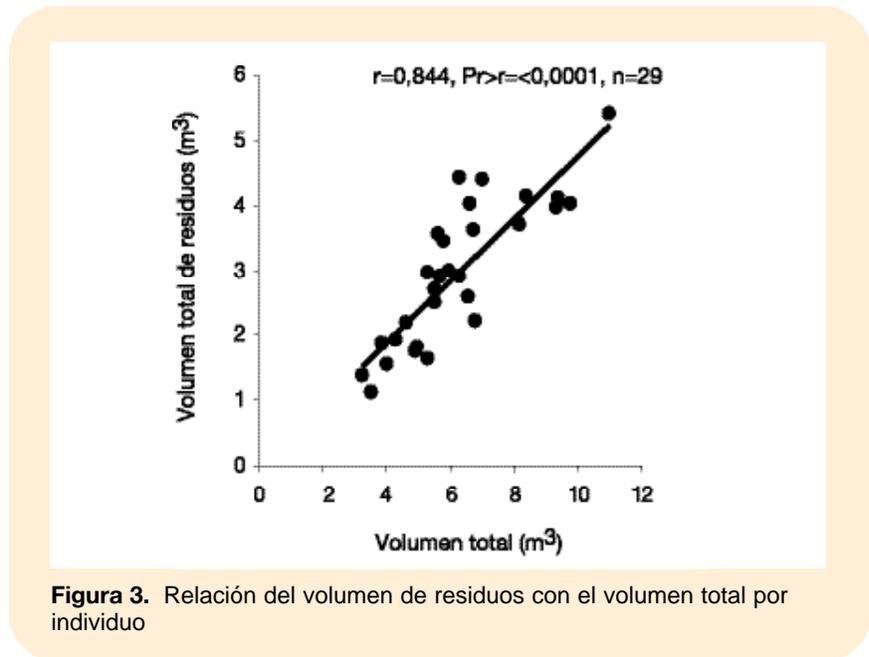


Figura 3. Relación del volumen de residuos con el volumen total por individuo

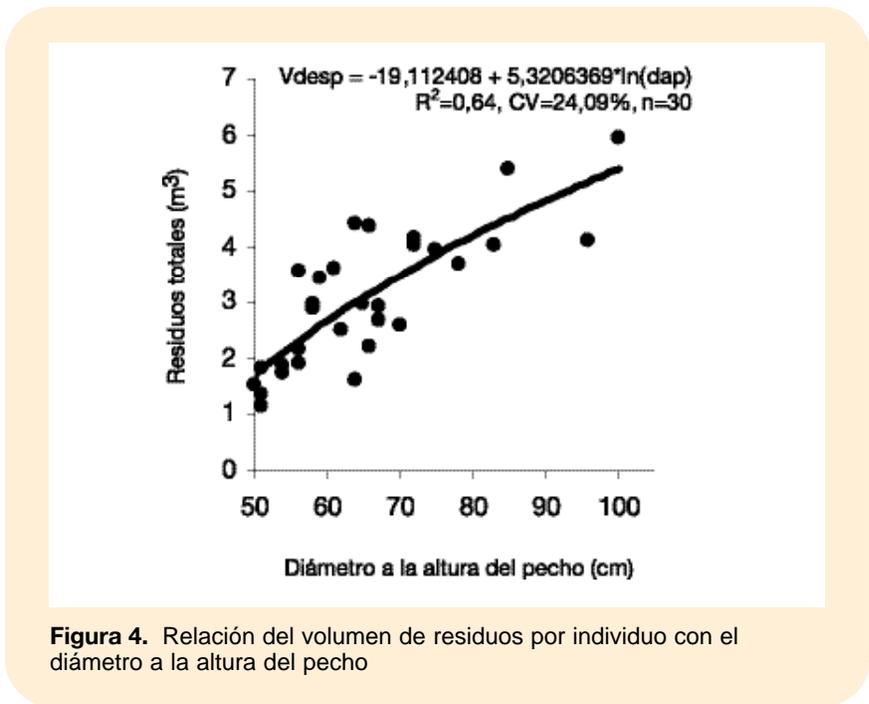


Figura 4. Relación del volumen de residuos por individuo con el diámetro a la altura del pecho

de vías de arrastre con un ancho promedio de 4 m, lo que da un área disturbada de 18,64 ha. Los caminos principales tuvieron una longitud total de 3217 m con ancho promedio de 12 m (área disturbada de 3,68 ha). El área total de bosque bajo caminos y vías de arrastre fue del

6,1%. El ancho promedio reportado para las vías de arrastre es mayor que las reportadas por Contreras y Morales (1995) y Johns *et al.* (1996), quienes hablan de 3,6 m y 3 m de ancho, respectivamente. Si bien la construcción de caminos y vías de arrastre se hizo en forma planificada

<sup>6</sup> AAA = Área anual de aprovechamiento 2002

y evitando la tumba de árboles de diámetros mayores, como residuos forestales quedó un total de 1,94 tC/ha (711,72 tC/AAA).

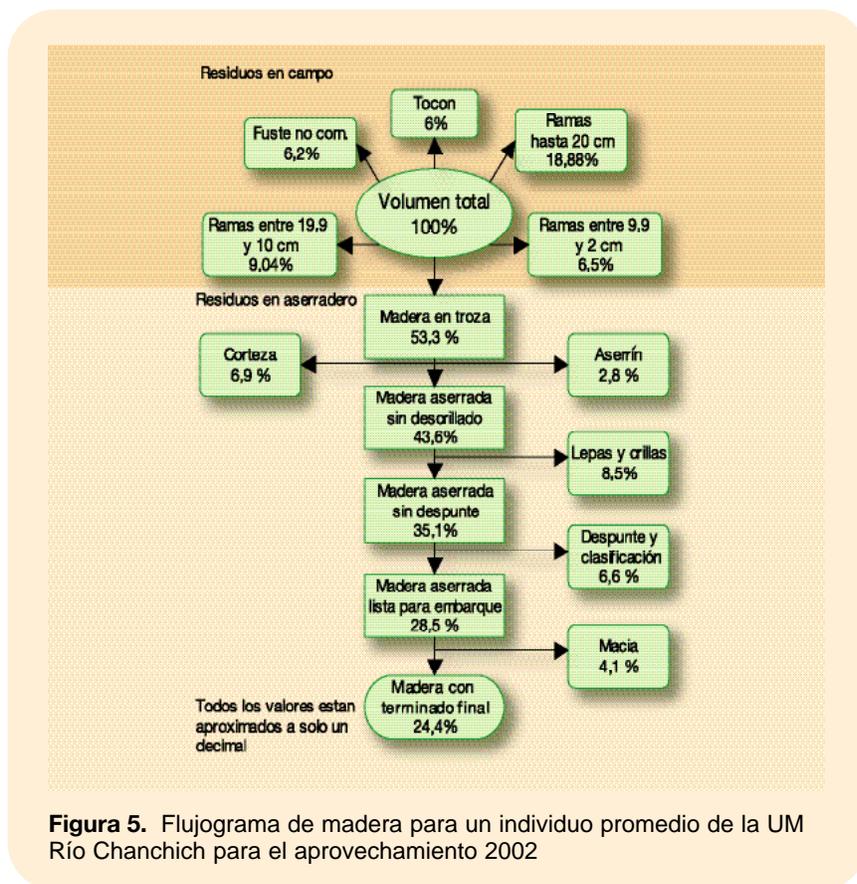
Los cuatro patios de acopio significaron la remoción del bosque en un área de 0,88 ha, con lo que se generó un promedio de 0,275 tC/ha (100,53 tC/AAA). En total, en el bosque quedan residuos por 2624,95 ton C (7,17 ton C/ha).

En la región Huetar Norte de Costa Rica, se dañó solamente el 5% del área boscosa por la construcción de caminos y vías de arrastre para extraer 3,95 ind/ha (Méndez 1993), lo que indica que en Río Chanchich es posible disminuir el daño a la masa remanente. En Costa Rica se logró gracias al mejoramiento de la planificación de caminos y a la disminución de los anchos de vías de arrastre y vías principales.

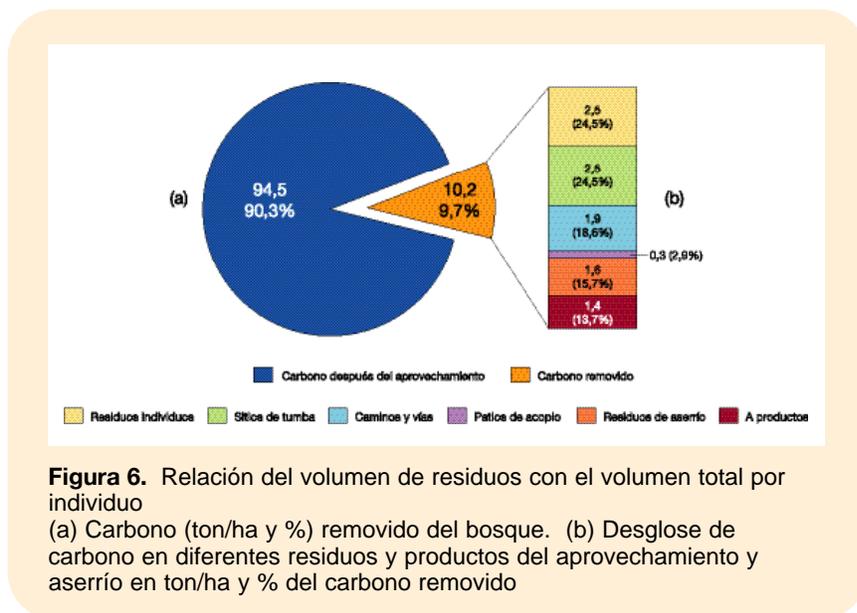
**Desperdicios en aserradero.** El volumen de madera útil transformado a productos es bajo, ya que solamente el 45% de la troza se convierten en tablas (flich). En total, se estima que el aserrío genera residuos por 601,33 tC, de los cuales las lepas y orillas son el principal componente. Le siguen en orden de importancia, la corteza, la madera resultante por clasificación y despunte, macía y aserrín.

De los subproductos (residuos) ninguno tiene un uso específico; la corteza permanece como basura en el patio de aserrío, el aserrín es acumulado en un sitio dentro del patio de aserrío, las lepas y orillas son usadas principalmente como combustible o para la construcción de cercos y los residuos resultantes por la clasificación y despunte son utilizados, en parte, por las carpinterías locales.

**Carbono total removido.** El proceso de aprovechamiento y aserrío extrae 3728,91 ton C (10,19 ton C/ha); aproximadamente el 9,73% del total de carbono almacenado por el bosque (Figura 6a). De ese porcentaje, sólo el 13,5% se mantiene secuestrado en productos de madera, y el resto (86,5%) queda en pro-



**Figura 5.** Flujograma de madera para un individuo promedio de la UM Río Chanchich para el aprovechamiento 2002



**Figura 6.** Relación del volumen de residuos con el volumen total por individuo (a) Carbono (ton/ha y %) removido del bosque. (b) Desglose de carbono en diferentes residuos y productos del aprovechamiento y aserrío en ton/ha y % del carbono removido

ceso de descomposición y, por lo tanto, en proceso de liberación (Figura 6b). El carbono que se extrae con el aprovechamiento forestal es relativamente poco, en comparación con

el remanente; esto se debe, más que todo, a las variables que influyen sobre la cantidad de carbono removido, la intensidad de corta y las técnicas de aprovechamiento utilizadas.

## Conclusiones

1. Un individuo promedio tiene un volumen de 6,237 m<sup>3</sup> en madera hasta ramas de 2 cm de grosor, contenido principalmente en el fuste comercial y en ramas > 20 cm de grosor. En promedio por cada metro cúbico de madera que es transportado para el aserrío, en el bosque quedan como residuo 0,947 m<sup>3</sup>.
2. La ecuación  
$$V_{\text{com}} = 0,000820596 (\text{dap}^2)$$
da una buena estimación del volumen extraído con base en el dap; el  $V_{\text{desp}} = -19,112408 + 5,3206369 \cdot \ln(\text{dap})$  para la de los residuos causados por la extracción. Igualmente se encontraron ecuaciones de regresión válidas para la estimación del volumen útil y de residuos en el proceso de aserrío.
3. El rendimiento del aserradero Wood Mizer LT40, propiedad de la Sociedad Civil “Impulsores Suchitecos”, es del 51,2% a partir de trozas sin corteza.
4. De cada árbol, 24,4% de su madera llega a ser producto, fijando 13,7% del total de carbono removido para su aprovechamiento y 1,5% del total de carbono almacenado en el bosque original.
5. La intensidad de corta, la utilización de tala dirigida, la planificación de caminos y el uso de ramas con grosor para aserrío, ofrecen oportunidades para la reducción de residuos forestal y un mayor almacenamiento de carbono en productos.

## Recomendaciones

1. Las instituciones encargadas del manejo forestal en la Reserva de Biosfera Maya 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. Debe de existir una capacitación constante por parte de los grupos comunitarios en aspectos de tala dirigida, planificación y apertura de caminos ya que son los componentes que más provocan residuos en el bosque.
3. 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. 

## Agradecimientos

Al proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono en Centroamérica (LUCCAM, por sus siglas en Inglés), por el aporte financiero para el desarrollo de la investigación. También agradecemos la valiosa colaboración de Fundación Naturaleza para la Vida y de las sociedades civiles Impulsores Suchitecos” y “Organización, Manejo y Conservación.

## Literatura citada

- Arreaga Gramajo, WE. 2002. Estimación del carbono almacenado en bosques con manejo forestal sostenible. Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Brown, S.; Gilpele, AJR; Lugo, A. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35(4):881-902.
- 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, Petén, GT. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Ciesla, WM. 1996. Cambio climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. Roma, Italia, FAO. 146 p. (Estudio FAO Montes 126).
- Contreras, J.; Morales, J. 1995. Evaluación de los efectos del aprovechamiento forestal sobre el bosque residual en Bethel, La Libertad, Petén. Petén, GT, CI/Propetén. 34 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.
- 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.
- Fundación Solar, GT. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Ed. L. Márquez. Guatemala, GT, Fundación Solar. 31 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Guidelines for national greenhouse gas inventories: the reference manual. (en línea). 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.
- 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.
- Martínez Gómez, WA. 2002. Evaluación de rendimientos y costos de aserrío 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.
- 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. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 58 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).
- 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.
- 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.
- Soto Sandoval, JA; Aguirre, JA; Méndez, J; Páez, G. 2000. Evaluación económica y ambiental de residuos forestales en aserraderos de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 30:29-33.
- 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.