



**Dinámica de Cobertura Forestal 2001-2006 e
Inventario de Carbono en el Astillero Municipal
de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez**

Asociación Sotz'il:

Coordinación General:

Marvin David Chirix Sotz

Apoyo Técnico:

Licda. Amarilis Gómez Ibarra

Juan Cusanero

Félix Sarazúa

Universidad del Valle de Guatemala

Coordinación General:

Dra. Doris E. Martínez Melgar

Integración:

Licda. Gabriela Alfaro Marroquín

Análisis de datos de carbono:

Ing. For. Alma Quilo

Inventario de carbono en campo:

Lic. Diego A. Pons Ganddini

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	1
A. DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
Contexto Ecológico Astillero Municipal, San Antonio Aguas Calientes.	2
METODOLOGÍA	3
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	4
CONCLUSIONES:	6
B. MEDICIÓN DE LA FIJACIÓN DE CARBONO DEL ASTILLERO MUNICIPAL SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ.....	7
INTRODUCCIÓN:.....	7
Fase se Campo:	8
Fase de Laboratorio	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN:	13
CONCLUSIONES:	14
RECOMENDACIONES:	15
LITERATURA CITADA	16
ANEXOS	17
ANEXO 1. Resultados de las densidades de carbono (tC/ha) por componente por parcela del inventario forestal realizado en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes.	17
ANEXO 2. Gráficas	18
ANEXO 3. Fotografías relevantes del trabajo de campo.....	19

PRESENTACIÓN

En este trabajo se entrega el análisis de dinámica de cobertura forestal 2001-2006 y el resultado del inventario de Carbono del bosque del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez. Ambos estudios aportan a una mejor interpretación de la realidad ambiental del bosque, sugiriendo acciones de manejo puntual para mejorar su salud ecosistémica y asegurar así, la calidad de vida de las poblaciones cercanas al mismo.

Por medio de un esfuerzo interinstitucional en el que participan la Asociación Sotz'il, la Asociación de Forestaría Comunitaria de Guatemala Ut'z Che' y el Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala (CEAB-UVG), en este documento se entrega a los socios, y a las comunidades interesadas en la gestión sostenible del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, lo siguiente:

- A. Análisis de la dinámica de cobertura forestal 2001-2006 y mapa de dinámica del Astillero Municipal.
- B. Medición de carbono en suelo, hojarasca, maleza y biomasa fijado por el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.

El trabajo consta de un resumen ejecutivo en el cual se exponen de forma sucinta, los principales resultados del análisis de dinámica de cobertura forestal, así como la medición de Carbono del Astillero Municipal. En este resumen se abarcan conclusiones, junto con las principales recomendaciones de manejo propuestas por expertos en el tema.

El trabajo propiamente dicho, detalla la importancia ecológica de ambos análisis, la metodología utilizada para la evaluación, los principales resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones para mejorar el manejo del Astillero Municipal. Por último, se incluye la literatura citada y en los anexos.

Los resultados fueron presentados y discutidos con funcionarios de la Municipalidad de San Antonio Aguas Calientes, comunitarios y técnicos de la Asociación Sotz'il.

No queda más para el CEAB-UVG que reiterar su compromiso por apoyar los esfuerzos comunitarios y municipales encaminados a lograr una gestión colectiva y sostenible de los recursos naturales, manifestando su interés por acompañar el proceso y darle seguimiento.

A. DINÁMICA DE LA COBERTURA FORESTAL

INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental de las últimas décadas, ha hecho que se dediquen grandes esfuerzos al desarrollo de metodologías dedicadas a monitorear la condición de la cobertura forestal y a entender los procesos involucrados en la dinámica de cambio. Todo esto con el objetivo de detener y controlar el impacto negativo que está causando en el medio ambiente la generación de gases de efecto invernadero que tienen gran influencia en el cambio climático (CONAFOR, 2011).

Los sensores remotos ofrecen una alternativa para la realización de monitoreo y cuantificación a pequeña y a gran escala de los cambios ocurridos en la cobertura forestal ocasionados por la actividad humana o bien por eventos naturales. Los satélites nos brindan índices de vegetación que ayudan a definir la salud de un ecosistema de forma consistente y eficaz, evaluar el estado de la cubierta vegetal, y comparar en el tiempo y en el espacio los cambios en las condiciones del bosque (CONAFOR, 2011).

Muchas instituciones y programas mundiales, debido a la preocupación por el cambio climático, han generado experiencia en el mapeo de cobertura forestal y el cambio de uso de la tierra, basados en los sensores remotos. Un ejemplo de ello es el laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala (CEAB-UVG), quienes han generado a lo largo de varios años, en conjunto con otras instituciones, mapas de dinámica de la cobertura forestal de todo el territorio guatemalteco, con el fin de generar información de las tendencias de los cambios de la cubierta forestal del país para apoyar un manejo forestal sustentable y garantizar los recursos para futuras generaciones.

Contexto Ecológico Astillero Municipal, San Antonio Aguas Calientes.

El Astillero Comunal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez, cuenta con un área aproximada de 168.66 ha. y pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical, en la vertiente del Pacífico. Su temperatura promedio es de 14°C a 20°C, con una precipitación promedio anual de 800 mm a 1000 mm. Sus suelos son andisoles, constituidos de Alotenango y ceniza volcánica. El suelo es moderadamente fino y tiene buen drenaje (CEAB, 2011).

En cuanto a ecosistemas vegetales, Sacatepéquez cuenta con 3% de bosque latifoliado, 33% de bosque mixto, 5% de bosque arbustal y herbazal, mientras el 58% de su territorio presenta uso agrícola. De acuerdo al análisis de integridad ecológica realizado por The Nature Conservancy, Sacatepéquez presenta 18,000 ha de bosque en estado ecológico regular y 2,000 ha en buen estado (CEAB-UVG, TNC, 2010).

El 30% del territorio del departamento (9,309 ha), se encuentra bajo protección legal, sumando quince áreas protegidas en diferentes categorías. La mayor extensión de estas áreas protegidas corresponde a la Zona de Veda Definitiva de los volcanes Acatenango, Fuego y Agua, seguido por Reservas Naturales Privadas, Reserva Protectora de Manantiales y Parque Regional Municipal (CEAB-UVG, TNC, 2010). En el estudio de dinámica de cobertura forestal 1991-2001, realizado a nivel nacional, Sacatepéquez fue el único departamento del Altiplano Central que presentó un incremento de cobertura forestal con 1.9 ha reforestadas en ese período (UVG, CONAP, INAB, 2006).

Debido a que el departamento de Sacatepéquez forma parte de la región montañosa del país, en el Altiplano Central de Guatemala, es fácil observar aves consideradas de especial interés para la conservación por su grado de vulnerabilidad a nivel mundial y endemismo. En muestreos, realizados en la Finca Filadelfia, Sacatepéquez, se reportaron 29 especies de aves, 9 de las cuales son altamente vulnerables y 20 son endémicas. De las 29 aves se reporta *Dendroica chrysoparia* y *Oreophasis derbianus*, ambas de suma importancia. En cuanto a mamíferos hay un reporte de 110 especies para todo el Altiplano Central siendo el orden Quiróptera (murciélagos) el más abundante y diverso. El 62% de las especies de mamíferos que se encuentran en esta región están bajo algún criterio de conservación de acuerdo al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), la Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (UICN) o el Convenio para Regular el Tráfico Ilegal de Especies en Peligro (CITES). Además, en esta área se reportan orquídeas y bromelias protegidas por CITES y CONAP (CEAB-UVG-TNC,2010).

METODOLOGÍA

Para determinar cómo ha cambiado el bosque a lo largo del tiempo (dinámica de cobertura forestal), se utilizan imágenes satelitales de diferentes años. Las imágenes de años recientes se superponen en imágenes de años anteriores y se comparan para descubrir dónde se ha ganado bosque, dónde se ha perdido y dónde ha permanecido la misma cantidad de bosque dentro del área de estudio. Para analizar la dinámica de cobertura forestal del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes Sacatepéquez, se utilizaron imágenes a una escala 1:250000, comparando los años 2001 y 2006.

Las imágenes utilizadas fueron obtenidas por los satélites LANDSAT 5 y 7. Estos satélites proporcionan ortofotos (fotografías aéreas) con una resolución degradada de 1m X 1m lo que permite muy buen nivel de detalle para identificar los cambios de bosque.

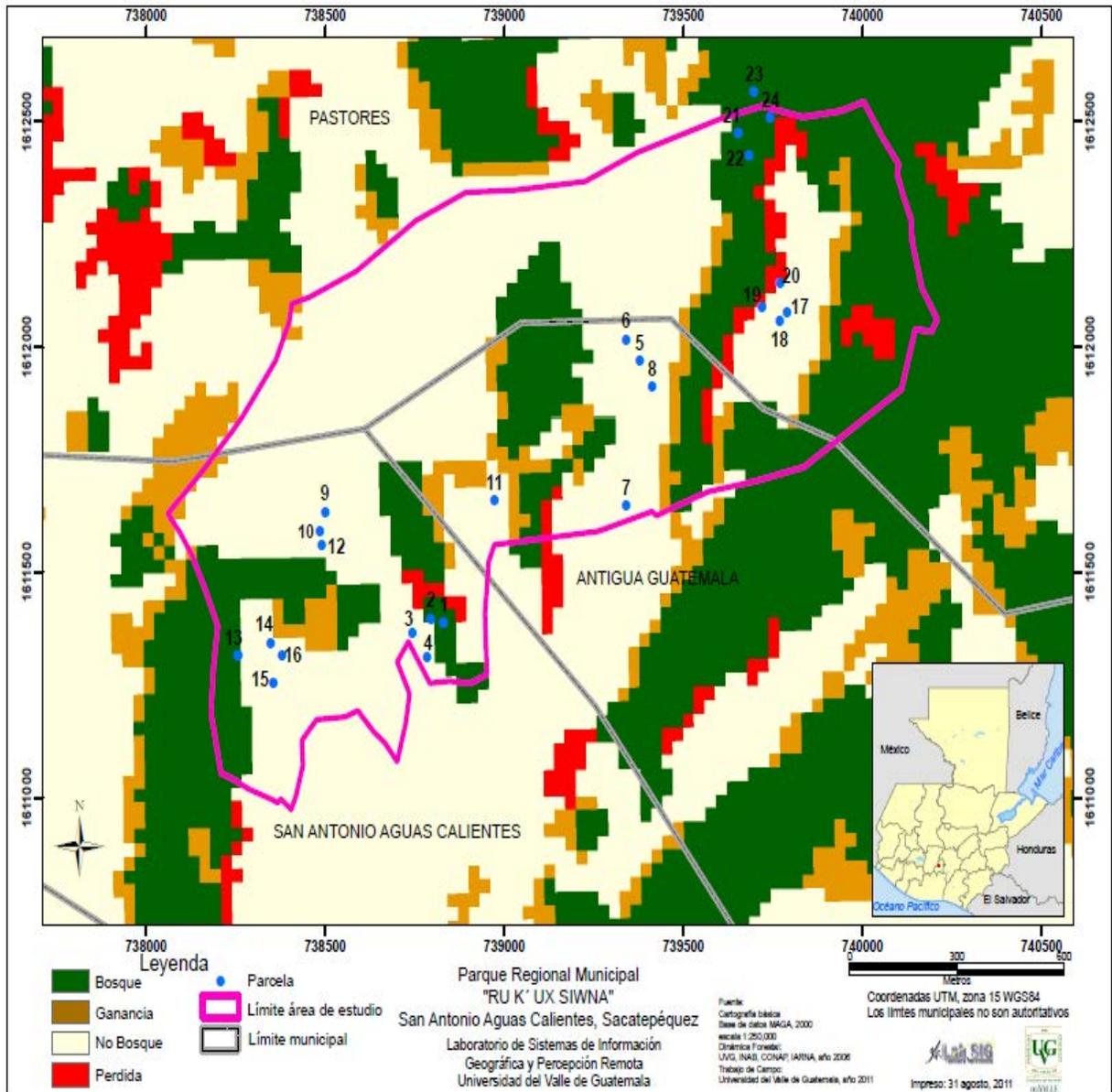
El mapa de la dinámica de cobertura forestal del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes fue generado por el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos del Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala. Se tomó como referencia el Mapa de Dinámica de Cobertura Forestal de Guatemala 2001-2006 (UVG-CONAP-INAB-URL, 2010) pero corrigiendo el nivel de detalle para ser lo más certeros posibles para ajustar la escala nacional a un polígono relativamente pequeño como el Astillero.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los valores de dinámica forestal obtenidos en este estudio se reporta que el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, cuenta con área total de 168.66 ha, de las cuales 63.09 ha (37.41%) tienen bosque. En la Figura 1, Mapa de Ubicación, Parcelas y Dinámica de Cobertura Forestal 2001-2006 del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez, se puede observar la ganancia (en anaranjado) que ha tenido el bosque del 2001 al 2006. Es decir, para el año 2001 estos parches no tenían bosque, por lo que es probable que el bosque se haya regenerado o bien que se hayan realizado reforestaciones planificadas en esas áreas.

Como se observa en el Cuadro 1 a lo largo de esos cinco años, el Astillero Municipal ganó 12.15 ha de bosque. Sin embargo, también se reportó la pérdida de 5.4 ha en otras áreas del Astillero, las cuales pueden observarse de color rojo en el mapa. Esta pérdida podría deberse a tala de árboles para el uso de madera o leña. Si a la ganancia de bosque regenerado se le resta la pérdida del bosque deforestado, obtenemos la ganancia neta del bosque del Astillero Municipal, que fue de 4 ha. Esto representa 2.4% del área boscosa del Astillero al 2006.

Figura 1: Ubicación, parcelas de muestreo de Carbono y Dinámica de Cobertura Vegetal 2001-2006 del Astillero Municipal San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.



En el Cuadro 1 se observan las hectáreas con bosque y sin bosque, así como las hectáreas ganadas y perdidas de los años 2001 al 2006 del bosque del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.

Cuadro 1. Valores de la Dinámica de la Cobertura Forestal 2001-2006, Astillero Municipal San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.

	BOSQUE	SIN BOSQUE	GANANCIA	PÉRDIDA	Ganancia neta
Área (ha)	50.94	100.17	12.15	5.40	4.00
Porcentajes (%)	30.20	59.39	7.20	3.20	2.37

En el Cuadro 2 podemos observar que en el año 2006 el bosque presentaba 63 ha de bosque lo que apenas representa el 37.4% del total del área del Astillero, mientras que el 62.59% (105.6 ha) se encuentra deforestado. Esto evidencia el uso excesivo para extracción de madera, leña o cambio de uso de suelo que presenta el Astillero, lo que ha dejado a más de la mitad del bosque sin árboles.

Cuadro 2. Cobertura boscosa y no bosque del Astillero Municipal San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez en el año 2006.

	Total Bosque	Total sin bosque
Área (ha)	63.09	105.57
Porcentajes (%)	37.41	62.59
Area Total (ha)	231.25	

CONCLUSIONES:

1. El Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes presenta un área total de 231 ha, de las cuales, para el año 2006, el 37% presentaba cobertura boscosa y el resto (63%) no presentaba cobertura boscosa.
2. En la dinámica forestal del 2001 al 2006 se obtuvo una ganancia de 7.2% y una pérdida de 3.2%, dando como resultado una ganancia neta de 2.4%.
3. La poca cantidad de área con bosque (37%) denota el uso excesivo de extracción de madera que se le ha dado al Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes.

B. MEDICIÓN DE LA FIJACIÓN DE CARBONO DEL ASTILLERO MUNICIPAL SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ

INTRODUCCIÓN:

El Carbono (C) es uno de los principales componentes de los gases de efecto invernadero, como el Dióxido de Carbono (CO₂), por lo que está altamente relacionado con el cambio climático (Brown 2004). Los bosques juegan un papel muy importante en el ciclo del carbono ya que los árboles, arbustos y vegetación menor, utilizan en su respiración el CO₂, liberando oxígeno (O₂) y almacenando el Carbono tanto dentro de ellos como en el suelo mismo, siendo por esta razón excelentes sumideros de Carbono atmosférico. Sin embargo, cuando los bosques son perturbados (naturalmente o no) y sufren transformaciones tras incendios, malas prácticas forestales, avance de la frontera agrícola, entre otras, pueden liberar todo el carbono almacenado durante siglos, convirtiéndose en fuente de Carbono atmosférico que contribuye al efecto invernadero y cambio climático.

A nivel mundial y también en Guatemala, hacen falta inventarios forestales para determinar la cantidad de carbono almacenado en los bosques. Por ello, en este proyecto se estableció como una prioridad llevar a cabo el inventario forestal y la medición del carbono almacenado en bosques comunales-municipales de interés, como el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes. Al conocer la cantidad de carbono almacenado por un bosque, se tiene una importante herramienta de decisión para considerar participar o no en el mercado internacional de Carbono promovido por el Protocolo de Kyoto para la mitigación del cambio climático. En este mercado de carbono, las comunidades o municipalidades pueden participar “vendiendo” el carbono fijado por sus bosques. Esto significa que pueden recibir dinero de alguna empresa o Estado extranjero para proteger, cuidar y reforestar el bosque a largo plazo. Así se obtiene no sólo un beneficio económico, si no también se aseguran otros servicios prestados por el bosque, como agua, turismo, recreación, etc.

Todos estos beneficios no se pueden obtener si las comunidades y municipalidad no saben cuánto carbono almacena su bosque. Por ello es de gran importancia la realización de inventarios de carbono, creando líneas base que nos ayudarán al momento de tomar acciones, con el único fin de mejorar la captación de carbono mediante buenas prácticas agrícolas y forestales (reforestación, tala controlada, buen manejo del suelo, etc).

Gracias a los numerosos estudios de captación de Carbono que se han realizado en el Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala se ha adquirido muy buena experiencia en la medición de carbono almacenado en todos los componentes del bosque, incluido el suelo, ya que es uno de los reservorios más importante de carbono.

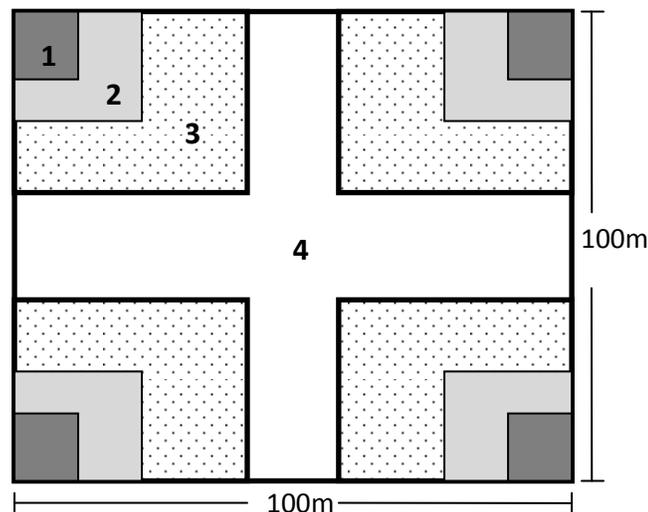
METODOLOGÍA:

Fase se Campo:

Diseño de Muestreo

Se realizaron 24 parcelas al azar de una hectárea (100m x 100m). Para este tamaño y tipo de bosque este número de parcelas arroja resultados representativos. Dentro de cada parcela de una hectárea se subdividió el espacio en cuatro sub-parcelas de 32 X 32m con su correspondiente corrección de pendiente. Cada sub-parcela se dividió, como se observa en la Figura 2 y en el Cuadro 3, en dos sub-parcelas, en cada una de las cuales se evaluó un componente diferente. Estas parcelas fueron las mismas utilizadas en la evaluación florística del bosque.

Figura 2. Diseño de las parcelas de muestreo utilizadas para la medición de Carbono del Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.



Cuadro 3. Área y descripción de los componentes evaluados en cada una de las subparcelas.

Subparcela	Dimensión (m) / Área (m ²)	Componentes evaluados
1	1m x 1m = 1m ²	Maleza, Hojarasca y Suelo
2	5m x 5m = 25m ²	Arbustos y Árboles jóvenes. DAP = 2.5cm - 9.9cm
3	32m x 32m = 1,024m ²	Arboles, DAP = 10cm – 59.9cm
4	100m x 100m = 10,000m ²	Arboles, DAP > 60cm

*DAP: diámetro a la altura del pecho (1.30m)

Estimación de Biomasa

El objetivo principal de hacer este tipo de inventario es estimar el peso (biomasa en Kg) de toda la cobertura vegetal que encontramos en un bosque. Este dato sirve para calcular el Carbono contenido en el sistema evaluado (forestal, agroforestal, cultivos anuales, etc). Para facilitar la medición, la biomasa se clasifica en los siguientes grupos:

a. Biomasa en maleza y hojarasca

La biomasa de estos componentes se evalúa en la sub-parcela 1, de un metro cuadrado (Ver Figura 2), se recoge toda la maleza (Ver Anexo 3, Fotografía 1) y hojarasca encontrada y se pesa, obteniéndose así el peso total húmedo. De esta muestra total se saca una sub-muestra, la cual es pesada y empacada para la posterior determinación de materia seca en el laboratorio.

b. Biomasa en arbustos, arboles jóvenes y adultos

El componente arbóreo se clasifica según el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de cada individuo. Se les denomina arbustos o árboles jóvenes a los individuos con DAP entre 2.5 y 9.9 cm, y árboles a aquellos con DAP mayor a 10 cm. Para la medición de biomasa se toma el DAP (Anexo 3, Fotografía 2), la altura y la especie o nombre común, de cada individuo medido dentro de la parcela. Estas variables se introducen en ecuaciones de biomasa ya existente que nos dan el valor de la biomasa por parcela (Kg/m^2) para así convertirla en densidad de carbono (tC/ha).

c. Biomasa en el Suelo

La muestra de suelo se toma dentro de la sub-parcela de 1m^2 , utilizando un cilindro de volumen conocido. Para tomar la muestra es necesario limpiar el área de materia orgánica, maleza y hojarasca hasta exponer el suelo. El cilindro debe ser introducido hasta el fondo y sacarlo lleno de suelo en su totalidad, si por las condiciones del lugar, no fuera posible llenar bien el cilindro debe de buscarse otro sitio que lo permita.

Fase de Laboratorio

Análisis de Muestras Vegetales y Carbono Orgánico en el Suelo

Estimación de Biomasa Seca

a. Materia seca, Biomasa y Carbono estimado para Maleza y Hojarasca:

Para poder determinar la materia seca es necesario conocer el “peso húmedo” y el “peso seco” de las muestras. El peso húmedo se recomienda sacarlo en campo. Para poder determinar el peso seco de los componentes vegetales (maleza y hojarasca) es necesario

eliminar toda el agua que contienen, por esta razón, una vez en el laboratorio, las muestras se colocan dentro de bolsas de papel en un horno de convección entre 50°C y 60°C. Se pesan diariamente hasta que alcancen un peso constante. Este peso ya estable se mide como peso seco. Contando con el peso húmedo y seco de las muestras vegetales, el porcentaje de materia seca se conoce por medio del cociente que representa la siguiente ecuación:

$$MS=PS/PH$$

(Ecuación 1)

Donde: MS = materia seca de la muestra ; PS = Peso seco de la muestra (g);
PH = Peso húmedo de la muestra (g).

La conversión del peso húmedo de campo a biomasa total se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$BT = PHc \times MS$$

(Ecuación. 2)

Donde: BT = Biomasa Seca (Kg.) de la hojarasca, maleza, arbustos o árboles jóvenes;
PHc = Peso húmedo total registrado en campo (Kg.); MS = materia seca de la muestra.

A partir del cálculo de la biomasa seca para la sub-parcela de un metro cuadrado se puede estimar el carbono y posteriormente, éste se traduce a toneladas de carbono por hectárea (ton C / ha), cantidad conocida como la “densidad de carbono”.

Para realizar la conversión de biomasa a carbono se ha aplicado el factor de 0,5 (IPCC Guidebook, 2006).

$$\text{Ton C/Ha} = (\text{kg biomasa} * 0.5/1000) / \text{área parcela (ha)}$$

(Ecuación 3)

Con el fin de obtener el contenido total de carbono capturado por estos componentes (maleza y hojarasca) en la superficie total del bosque:

$$CT_{m-h} = \text{Densidad de carbono} * \text{área de cob. Forestal total del Bosque}$$

(Ecuación 4)

El resultado de la ecuación 4 es conocido como Carbono Total en la maleza y/o hojarasca (CT_{m-h}).

b. *Densidad de Carbono y contenido total de carbono en los árboles.*

Para estimar la biomasa seca de los arbustos, árboles jóvenes y adultos, se ha utilizado una combinación de ecuaciones de biomasa ya existentes. Algunas pueden ser de carácter genérico internacional o generadas en el país para especies locales. Para este proyecto se utilizaron ecuaciones de biomasa genéricas internacionales, una para las especies coníferas y otra para las latifoliadas, las cuales pueden observarse en el Cuadro 4:

Cuadro 4. Ecuaciones de biomasa aplicadas en arbustos, arboles jóvenes y adultos recolectados en el inventario forestal.

Especie	Ecuación de Biomasa	Fuente
Coníferas	$Y = \text{EXP}(-2.5356 + 2.4349 * \text{Ln}(\text{DAP}))$	Jenkins, 2003
Latifoliadas	$Y = 0.2035 * \text{DAP}^{2.3196}$	Pearson, et al., 2005

c. *Carbono en el Suelo*

Para obtener el porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo, las muestras se procesan de la siguiente forma:

1. La muestra de suelo se seca al aire hasta que se encuentra totalmente seca.
2. El suelo seco se pasa a través de un tamiz No 10 con el fin de remover todas las rocas, debido a que es conocido que en las rocas no hay Carbono almacenado.
3. Una vez removidas las rocas se toma el peso del suelo, a lo cual se le denomina “suelo fino”.
4. Se toman aproximadamente 5 gramos de “suelo fino”. Se muele y se pasa por un tamiz No 100.
5. De los 5 gramos se toma 1 gramo al cual se le determina el porcentaje de humedad.
6. De los restantes 4 gramos se toman entre 25 y 30 miligramos para procesarlos en el aparato Analizador de Carbono FLASH-EA 1112, único en la región centroamericana. Con este instrumento se logró reducir los desechos en el suelo mejorando la precisión de los resultados (Castellanos *et al.* 2010).

Para obtener la cantidad total de carbono en el suelo del bosque evaluado, es necesario realizar algunos cálculos. Conociendo el volumen del cilindro con el que se tomó la muestra y el peso del “suelo fino” obtenido previamente, es posible determinar la densidad aparente del suelo, utilizando la siguiente ecuación:

$$\mathbf{D.ap. = PSf / Vol}$$

(Ecuación 5)

Donde: D.ap. = Densidad aparente del suelo (g/cm^3); PSf = Peso seco de la fracción fina (g);
Vol = Volumen del cilindro (cc).

Además es necesario calcular la densidad de carbono en el suelo, para lo cual se utiliza la ecuación 6:

$$\mathbf{Cs = Prof. \times D.ap. \times \%C.O. \times \%CO}$$

(Ecuación 6)

Donde: Cs = Densidad de Carbono en los primeros 10 cm de suelo (tonC/ha); Prof=Profundidad del muestreo (cm); D.ap.= Densidad aparente (g/cm^3); %C.O. = Contenido porcentual de carbono orgánico en el suelo.

Una vez que tengamos la densidad de carbono por parcela, se calcula el promedio por bosque y este se multiplica por el área total del bosque.

$$\mathbf{CTs = Cs \times \text{Area total del bosque}}$$

(Ecuación 7)

Donde: CTs = Carbono Total en el suelo del bosque;
Cs = Total de carbono en los primeros 10 cm del suelo (Ton C/ ha);

d. Cálculo del carbono total contenido en un bosque

La cantidad total del carbono contenido en un bosque, es la sumatoria de los componentes, como se aprecia en la ecuación 8.

$$\mathbf{CTb = CTm + CTh + CTa + CTs}$$

(Ecuación 8)

Dónde: CTb = Carbono total en el bosque (toneladas); CTm = Carbono total en la maleza;
CTh = Carbono total en la hojarasca; CTa = Carbono total en los árboles; CTs = Carbono total en el suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

La cantidad de toneladas almacenadas por un bosque está mayormente relacionada con la densidad de arboles, su respectivo tamaño y especie. Por lo tanto, estas 3 variables serán nuestra principal directriz para la discusión.

Con los datos obtenidos, se logró determinar que el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes, ha sido usado en su mayoría para extracción maderera, ya que debido a sus pronunciadas pendientes no es apto para cultivos. Se trata de un bosque bastante homogéneo ya que cuenta con 2% de coníferas y 98% de latifoliadas. Se puede pensar que la mayoría de pino ya ha sido extraído. El bosque cuenta con dos guarda-recursos, quienes se encargan del control de salida y entrada de personas al bosque, vigilancia en general y mantenimiento de las barreras cortafuegos.

En el Anexo 2, Gráfica 1, podemos apreciar la distribución diamétrica (el ancho de los árboles), lo cual nos da una idea sobre la edad y la dinámica del bosque. Los árboles inventariados dentro del Astillero Municipal, en su mayoría, se encuentran entre las clases diamétricas de 10 a 30cm de DAP. Estos diámetros son consistentes con árboles jóvenes, lo que evidencia que el bosque es secundario, es decir que está en crecimiento o recuperación.

Generalmente, la parcela que cuenta con mayor densidad de árboles es la parcela que presenta mayor contenido de Carbono en suelo. Este no fue el caso del Astillero Municipal, ya que como se observa en el Anexo 1, la Parcela 15-D presenta la mayor densidad almacenada en el componente árboles (357.04tC/ha), mientras que la parcela 37-B es la que presenta mayor densidad de Carbono en el suelo (96.77 tC/ha). Lo mismo ocurre con los datos mínimos: la menor densidad en arboles la tiene la parcela 16-C (64.14tC/ha) y la menor densidad en el suelo (37.02tC/ha) pertenece a la parcela SA 29-A, la cual es también, la parcela que tiene la menor densidad de carbono (110.84tC/ha). La diferencia en las densidades de Carbono por componente (árboles y suelo) podría justificarse por la inclinación y la pendiente: entre más inclinada esté una parcela, mayor es la erosión del suelo, por lo que el suelo va a ser pobre en materia orgánica y por consiguiente en Carbono orgánico. Otro factor que influye en la densidad de carbono son las especies de árboles encontradas en las parcelas, la orientación, las condiciones climáticas (viento, nubosidad, temperatura, etc), entre otras.

En el Cuadro 5 y el Anexo 2 Gráfica 2, se observa que los componentes que más aportan a la densidad de Carbono en el Astillero Municipal son los árboles (69%) y el suelo (28%), con un promedio de 163.29 tC/ha y 66.08 tC/ha respectivamente. El componente Arbustos fue el que menos aportó a la fijación de Carbono (0.13 tC/ha). Esto no quiere decir que no existe sotobosque, si no que los arbustos encontrados en las parcelas muestreadas, tenían diámetros menores a 2.5cm. Estos diámetros no son tomados en cuenta en la medición. En promedio, el Astillero Municipal almacena 236.35 tC/ha, con un porcentaje de error de 35.9.

Cuadro No 5. Promedio del contenido de Carbono en 24 parcelas muestreadas en el Astillero Municipal San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.

	Arboles	Arbustos	Maleza	Hojarasca	Suelo	TOTAL PARCELA
Promedio (tC/ha)	163.29	0.13	0.72	6.14	66.08	236.35
% Error	34.38	0.07	0.52	1.84	6.54	35.93

Con el promedio de la densidad de carbono total (236.35tC/ha) del Astillero Municipal y tomando en cuenta solamente el número de hectáreas que según el mapa de dinámica poseen cobertura forestal (63.09ha), el bosque de San Antonio Aguas Calientes resguarda **aproximadamente 14,911 toneladas de carbono**.

Dentro de un inventario forestal común, el porcentaje de error de muestreo aceptable es de 15%. El Astillero Municipal presenta un porcentaje de error de 35.9%. Esto puede corregirse fácilmente si se realizan más parcelas, lo cual es complicado por los altos costos de análisis laboratorio.

Mientras menor sea el porcentaje de error de muestreo, mayor confiabilidad se tiene en los resultados. Esta certeza es muy importante para la negociación de venta de Carbono, ya sea por medio del mercado regulado o voluntario, en donde el comprador debe de conocer al mayor detalle posible, el producto a comprar (fijación/reducción de emisiones). Por su parte, el proveedor de los servicios debe conocer las responsabilidades/compromisos adquiridos para alcanzar los objetivos de un proyecto de mitigación al cambio climático que pudiese surgir.

Los resultados acá expresados, por el alto margen de error, inevitable por los pocos fondos disponibles, son muy útiles para una primera evaluación de la opción de venta de carbono. Si se decide a continuar con el proceso, se pueden realizar algunas parcelas más a los resultados ya obtenidos para reducir así el margen de error y tener una confiabilidad aceptada internacionalmente en las negociaciones.

CONCLUSIONES:

1. El Astillero Municipal no es económicamente rentable para el aprovechamiento de madera, ya que su composición es 98% de especies latifoliadas y los pocos individuos de coníferas se encuentran por debajo de los 40cm de DAP.
2. La mejor decisión de uso para el Astillero Municipal es la conservación y manejo sostenible. Para ello se debe tener mayor control y vigilancia sobre las actividades extractivas, para que el bosque pueda continuar prestando bienes y servicios ambientales.

3. El promedio estimado de la densidad de carbono capturado en el bosque de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez es de 236.35tC/Ha, acumulando un aproximado de 14,911 toneladas de carbono, en base a las 63.09 ha de bosque reportadas para el año 2006.
4. Los componentes que más aportan en la captura de Carbono del Astillero Municipal San Antonio Aguas Calientes fueron los árboles y el suelo, con 69% y 28% respectivamente.

RECOMENDACIONES:

1. Crear campañas de sensibilización con enfoque al uso sostenible de los recursos naturales.
2. Establecer o activar las reglas y sanciones determinadas por la comunidad/municipalidad para el manejo del bosque.
3. Mejorar la organización por parte de los comités forestales y las municipalidades que comparten el bosque para lograr elaborar y ejecutar propuestas conjuntas de mejoramiento del bosque.
4. Capacitar a los técnicos forestales comunitarios y municipales para que puedan monitorear el stock de carbono, para poder cumplir con responsabilidades establecidas por posibles proyectos que deseen compensar los servicios ambientales.
5. Generar ecuaciones de biomasa a nivel local, utilizando los árboles tumbados con fines de aprovechamiento de madera.
6. Realizar planes de manejo para la restauración, reforestación, aprovechamiento de los bosques, con el fin de lograr un manejo sostenible, que conlleve a la conservación de los recursos naturales.
7. Para mejorar los niveles de almacenamiento de Carbono es importante el manejo de la erosión del suelo por medio de prácticas de conservación y la reducción de la deforestación estableciendo reglas de uso para alcanzar un manejo sostenible y control sobre las áreas boscosas. Esto es importante, no solo para lograr mantener el stock de carbono, sino que también para proporcionar a las poblaciones cercanas y lejanas los servicios ambientales que se obtienen de estos sistemas.

LITERATURA CITADA

- Brown, S.** 2004 “Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de Carbono”. US Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Western Ecology Division, 200 SW 35th Street, Corvallis, OR 97333, EUA
- Castellanos, E., A. Quilo, R. Montenegro y S. Quemé.** 2008 “Estimación del contenido de carbono en bosques del altiplano occidental de Guatemala (Fase III)” Centro de Estudios Ambientales – Universidad del Valle de Guatemala en colaboración con: CARE
- Castellanos, E., A. Quilo y R. Mato.** 2010. Metodología para la Estimación del Contenido de Carbono en Bosques y Sistemas Agroforestales en Guatemala. Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad (CEAB-UVG)- CARE. Guatemala.
- CEAB-UVG, TNC.** 2010. Diagnóstico Ecológico y Socioeconómico de Altiplano Central de Guatemala (Por publicar).
- CONAFOR.** 2011. Sistema Nacional Forestal de México. Monitoreo Forestal de México.
- Jenkins, J., D. Chojnacky, L. Heath y R. Birdsey.** 2003. National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*. 49(1): 12-35.
- UVG, CONAP, INAB.** 2006. Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 1991-2001 y Dinámica de la Cobertura Forestal 1991 - 2001. Guatemala.
- UVG, CONAP, INAB, URL.** 2010. Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2006 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2001-2006. Guatemala.

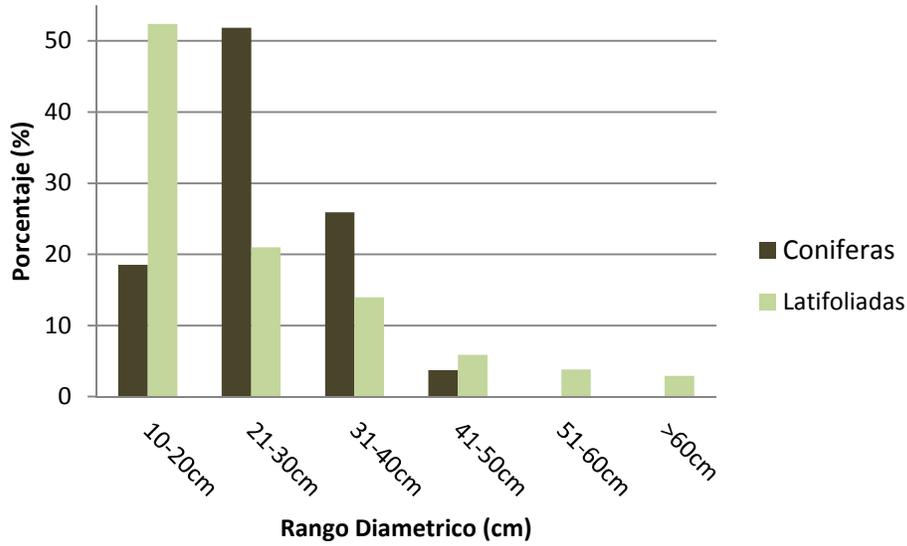
ANEXOS

ANEXO 1. Resultados de las densidades de carbono (tC/ha) por componente por parcela del inventario forestal realizado en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes.

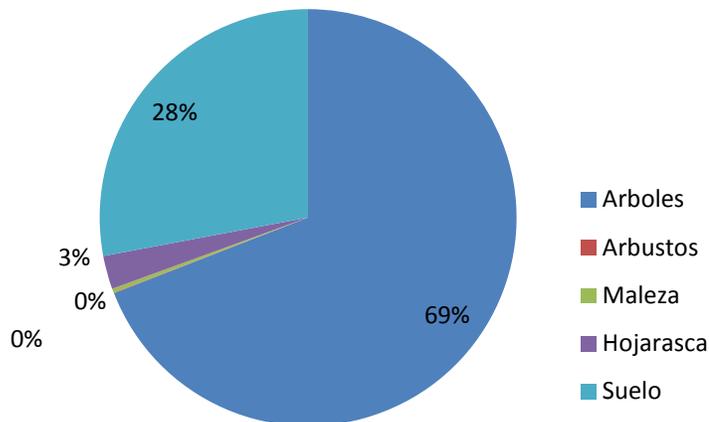
No.	ID Parcela	tC/ha					TOTAL PARCELA
		Arboles	Arbustos	Maleza	Hojarasca	Suelo	
1	SA 15-A	75.19	0.16	0.19	3.57	40.19	119.30
2	SA 15-B	159.84	0.21	0.06	3.80	53.61	217.53
3	SA 15-C	188.81	0.17	0.02	2.89	45.96	237.85
4	SA 15-D	357.04	0.00	0.10	4.50	41.73	403.37
5	SA 16-A	119.88	0.23	0.68	4.42	86.29	211.50
6	SA 16-B	291.40	0.02	0.00	3.10	65.91	360.43
7	SA 16-C	64.14	0.00	0.00	7.64	74.15	145.93
8	SA 16-D	206.82	0.08	3.98	2.39	65.16	278.44
9	SA 17-A	167.96	0.03	0.00	4.40	75.45	247.84
10	SA 17-B	82.28	0.03	0.02	3.81	61.34	147.48
11	SA 17-C	128.29	0.00	2.42	4.96	69.17	204.83
12	SA 17-D	195.62	0.13	0.20	4.42	75.60	275.97
13	SA 29-A	67.56	0.11	0.05	6.10	37.02	110.84
14	SA 29-B	240.22	0.00	0.19	5.76	48.36	294.53
15	SA 29-C	87.92	0.20	0.26	6.80	56.85	152.02
16	SA 29-D	138.64	0.00	0.04	2.30	64.43	205.42
17	SA 34-A	109.39	0.00	0.06	2.89	79.15	191.49
18	SA 34-B	81.90	0.86	0.04	3.00	92.97	178.77
19	SA 34-C	75.05	0.00	0.31	6.91	55.46	137.73
20	SA 34-D	139.08	0.00	0.03	2.74	77.34	219.18
21	SA 37-A	247.91	0.18	1.65	13.71	74.01	337.46
22	SA 37-B	343.16	0.26	0.21	12.86	96.77	453.26
23	SA 37-C	229.70	0.25	2.35	20.70	66.90	319.90
24	SA 37-D	121.11	0.14	4.48	13.64	82.09	221.47
	Promedio	163.29	0.13	0.72	6.14	66.08	236.35
	% Error	34.38	0.07	0.52	1.84	6.54	35.93

ANEXO 2. Gráficas

Gráfica 1. Distribución diamétrica según especie para el componente arbóreo del Bosque de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.



Gráfica 2. Representatividad promedio (%) de cada uno de los componentes que contribuyen a resguardar el carbono capturado en el Astillero Municipal de San Antonio Aguas Calientes.



ANEXO 3. Fotografías relevantes del trabajo de campo

Fotografía 1: Medición de biomasa de maleza.



AQuilo, 2011

Fotografía 2: Medición de DAP



AQuilo, 2011