

Estudio de caso del sitio de monitoreo intensivo de carbono en la Reserva la Biósfera La Encrucijada, Chiapas



**Cristian Tovilla Hernández, Juan Carlos de la Presa Pérez, Dulce M. Infante
Mata, David López Merlín, Vanessa Maldonado, Juan Pablo Caamal Sosa**

Tapachula, Chiapas, México 22 de Diciembre del 2015

Agradecimientos

Para la elaboración de este documento se agradece la participación de las estudiantes Yadira López Martínez, Belén Jiménez Gómez, los técnicos, Alejandro Lan Ramírez y Rubén García. A Edgar Villeda de CONABIO por su colaboración en el establecimiento de las unidades primarias de muestreo y el entrenamiento al equipo del SMIC la Encrucijada en el manejo de la cámara hemisférica.

A los representantes de las instituciones que han facilitado el establecimiento del SMIC: Jorge Morfín Ríos, Richard Birdsey, Rafael Flores, Alma Vázquez, Sergio Villela, Rodrigo Vargas, Leonardo Castro, Edmundo Aguilar.

Contenido

1.0. Introducción	3
1.1. Abreviaturas y Acrónimos	4
1.2. Reserva de la biosfera la encrucijada	5
1.3. Objetivos del SMIC son los siguientes	6
1.4. Distribución de las unidades primarias de muestreo	6
1.5. Proceso de elección del lugar para el establecimiento del SMIC La Encrucijada	7
1.5.1. Localización de la zona.	11
2.0. Biomasa aérea	14
2.1. Biomasa viva.	15
2.2. Biomasa por encima del suelo.	15
2.3. Biomasa por debajo del suelo.	16
2.4. Biomasa de madera muerta.	16
2.5. Estructura y biomasa arbórea madura.	16
2.6. Metodología Biomasa aérea.	17
2.6.1. Delimitación de las Unidades de Muestreo (UM).	17
2.6.2. Medición del Dap.	17
2.6.3. Cobertura arbórea	20
2.6.4. Estructura y biomasa arbórea renuevos	20
2.7. Estructura y biomasa de neumatóforos y plantas <1.3m.	21
2.8. Biomasa Muerta.	24
2.8.1. Evaluación de la extracción forestal	24
2.9. Tocones	25
2.9.1. Estructura y biomasa arbórea en pie.	25
2.9.2. Muertos en pie	26

2.10. Biomasa de raíces.	26
2.11. Biomasa subterránea	27
2.12. Estimación de carbono en biomasa aérea	28
3.0. Suelo	28
3.1. Diseño del muestreo	30
3.2. Método de muestreo	30
3.3. Procesamiento de muestras	31
3.4. Procesamiento en laboratorio.	33
3.4. 1).-Determinar el contenido de humedad del suelo	34
3.4. 2).-Preparación de las muestras, para determinar la concentración de carbono	36
4.0.- Realización de dos talleres para la concientización de la torre en la Encrucijada, Acapetahua, Chiapas	38
5.0. Referencias	39

1.0.- Introducción

Los humedales costeros juegan un papel importante en el ciclo global del carbono (Bouillon et al. 2008, Fourqurean et al. 2014). Los ecosistemas de manglar se distribuyen principalmente en el trópico y neotrópico (Giri et al. 2011), y su productividad es alta especialmente en estas zonas, por ejemplo en cuanto a biomasa aérea llegan a ser más productivos que ecosistemas boscosos terrestres (i.e. hasta 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹) (Alongi 2009). En este tipo de ecosistemas el almacén de carbono es de suma importancia en suelo, el carbono almacenado en biomasa aérea es de 20%, mientras que en el suelo se almacena el 80% restante (Siikamaeki et al. 2013).

El carbono almacenado en los ecosistemas de manglar es vulnerable a presión antropogénica (Siikamaeki et al. 2013, Alongi 2002) y cambio climático (i.e. huracanes) (Barr et al. 2012). Con el fin de mitigar la pérdida de carbono por cambio de uso de suelo, y estreses biofísicos se analizan estrategias relacionadas con pago por servicios ambientales (Friess et al. 2015, Friess and Webb 2014) y la

implementación de programas como REDD+ (Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación, más manejo sustentable) (Birdsey et al. 2013, Alongi 2011, Murdiyarto, Kauffman, and Verchot 2013).

México, como parte de sus compromisos internacionales, trabaja en el diseño e implementación del sistema nacional de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de emisiones y adsorciones de gases de efecto invernadero (GEI); dicho sistema lo coordina la Comisión Nacional Forestal a través del Proyecto “Fortalecimiento REDD+ y Cooperación Sur-Sur”.

Como elemento para la integración de información multi-escala y para apoyar al sistema MRV en el año 2012 se conformó una red mexicana de sitios de monitoreo intensivo del carbono (Red Mex-SMIC). Dicha red está integrada por el gobierno federal, instituciones internacionales, academia, ONGs y ejidos, con el fin de generar información de parcelas de campo sobre almacenes y flujos de carbono en sistemas forestales, integrándolos con información derivada de inventarios forestales, sensores remotos, intercambio de gases entre la atmósfera y la vegetación, e información sobre perturbaciones (estadísticas).

En 2015, la Red Mex-SMIC consiste en 5 SMIC, los cuales se ubican en los estados de Campeche, Chiapas, Hidalgo, Yucatán y Quintana Roo, y representan distintos tipos de bosques.

El SMIC del estado de Chiapas se encuentra en la reserva de la biósfera La Encrucijada, en el Municipio de Acapetahua, en un área de 9 km² que abarca un área de bosque de manglar en estado de conservación. En este sitio se trabaja para el monitoreo de los almacenes y flujos del carbono, con el fin de proveer información al sistema MRV nacional para reducir la incertidumbre asociada a las estimaciones de emisiones y adsorciones de GEI.

Este documento muestra la importancia de los bosques de manglar de la reserva de la biósfera la Encrucijada para la realización del monitoreo de los almacenes y flujos de carbono, el proceso de diseño del SMIC en el que participaron instituciones académicas, de gobierno, organismos internacionales, y finalmente se muestran los avances en el trabajo de campo para obtener estimaciones de almacenes de carbono en biomasa aérea y suelo.

1.1.- Abreviaturas y Acrónimos

C	Carbono
---	---------

CDM	Clean Development Mechanisms (Mecanismos de desarrollo limpio)
CBM-CFS3	Modelo de presupuesto de carbono del sector forestal Canadiense
CICY	Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
CN	Conglomerado
CO₂	dióxido de carbono
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
D	Diámetro
DN	Diámetro normal (a 1.3 m de altura)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización para la Agricultura y la Alimentación)
GEF	Global Environmental Fund (Fondo para el Medio Ambiente Mundial)
GEI	Gases de efecto invernadero
GRID	Base de Datos sobre Recursos Mundiales
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
IOC-UNESCO	Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático)
LiDAR	Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging
MLC	Material Leñoso Caído
M-REDD	Alianza México-REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación)
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
PMN	Proyecto México-Noruega
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RBKK	Reserva Biocultural Kaxil Kiuic
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación, y aumento del carbono forestal
SMIC	Sitio de Monitoreo Intensivo de Carbono
UNEP-WCMC	World Conservation Monitoring Centre of United Nations Environmental Programme (Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación del Programa Ambiental de Naciones Unidas)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

1.2.- Reserva de la biosfera la Encrucijada

La Reserva de la Biósfera La Encrucijada (RBLE), en el estado de Chiapas, representa una de las zonas más ricas, diversas y productivas de los sistemas estuarinos-lagunares del país (INE 1999). La Reserva está localizada al sur del Estado (14°43' - 15°40' latitud N y 92°26' - 93°20' longitud O). Contiene una superficie de casi 145 mil ha de llanuras costeras (25% corresponde en la zona núcleo), en él se representan diversos tipos de vegetación: manglares, tulares, zapotonales, vegetación acuática, matorrales costeros, palmares, selvas medianas subperennifolia y baja caducifolia (INE 1999, Tovilla et, al 2006, salas 2006, Morales 2010 CONABIO 2009, CONABIO 2012). Para mayor información consultar sobre aspectos sobre los manglares en la RBLE, consultar los

documentos del Anexo 1 sobre fichas de criterios y caracterización del sitio de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica La Encrucijada, Chiapas (CONABIO 2009b, CONABIO 2012) estos están considerados en buen estado de conservación.

En cuanto a los criterios considerados para la selección de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, para el establecimiento de un Sitio de Monitoreo Intensivo de Carbono se incluyen:

- ✚ Los manglares del área de la Encrucijada son los más productivos y mejor desarrollados del Pacífico Americano, con alturas del dosel que alcanzan entre los 20 y 35 m (INE 1999, Tovilla et al 2006).
- ✚ Los suelos dominantes en la zona de los manglares son arcillosos y/o lodosos-turbosos, (INE 1999, Tovilla et al 2006), en contraste con otros manglares bien estudiados como los de la Península de Yucatán o de los Everglades de Florida, Estados Unidos (donde ya hay una torre de Flujos Eddy Covarianza), dominados por suelos cársticos y cuya altura de dosel es inferior a los 10 m (CONABIO 2009A, Adame et al. 2013).
- ✚ El macizo de manglares representa cerca del 19% del área total del polígono de la Reserva, con una superficie cercana a los 27,493 ha (CONABIO 2009A) y densidades de hasta 950-2600 árboles por ha en zonas donde domina *Rhizophora mangle* (INE 1999, Tovilla et al 2006).
- ✚ Concentra las especies de mangle con mayor dominancia en el país, las cuales se encuentran “bajo la categoría de amenazadas” conforme a la NOM 059 SEMARNAT-2010 (INE 1999; CONABIO 2009A): *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Conocarpus erectus* (botoncillo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicennia germinans* (mangle negro), además de que en algunas zonas se presentan las especies de *Rhizophora harrisoni* y *Avicennia bicolor* (Ezcurra 2002; Nettel et al. 2008).

1.3.- Objetivos del SMIC son los siguientes

- ✓ Diseñar una metodología de colecta y análisis de datos adecuados para la estimación de los principales reservorios y flujos de carbono en el sitio.
- ✓ Proveer insumos necesarios para la mejora del conocimiento científico de corto, mediano y largo plazo sobre dinámica del carbono en este tipo de bosques, a escalas local, regional y nacional.
- ✓ Relacionar los resultados de este estudio con otras áreas de investigación que se han desarrollado en este sitio e identificar áreas de investigación futuras de relevancia

1.4.- Distribución de las unidades primarias de muestreo.

Entre las características más importantes del diseño propuesto para los Sitios de Monitoreo Intensivo de Carbono (SMIC) que se están implementando en México, se incluye el establecimiento de entre 24-32 unidades primarias de muestreo, dentro de un paisaje de 3 km por 3 km. Cada unidad primaria de muestreo (UPM) está formada por cuatro unidades secundarias de muestreo (USM) de 400 m², dispuestos en forma de una "Y" invertida. Este tipo de unidad secundaria de muestreo se basa en el diseño del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR 2008), para permitir la extrapolación de una parte de la información detallada que se genere en el SMIC a otras regiones con características similares en el país. El diseño del sitio de 9 km² está basado en lo descrito por Hollinger (2008) y por Birdsey et al. (2012) para sitios de monitoreo intensivo de carbono en los Estados Unidos, en los cuales se incluyen el establecimiento de una torre de flujos Eddy Covarianza al centro del sitio.

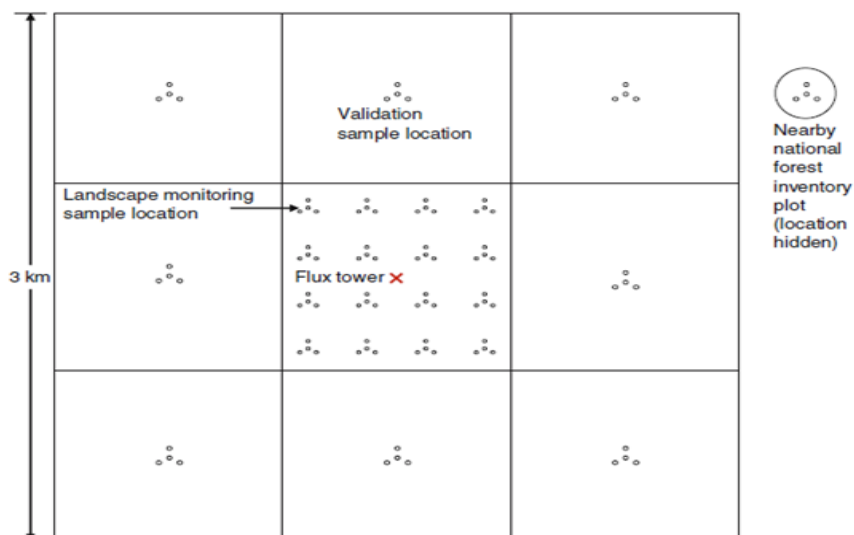


Figura 1. Representación del diseño espacial de un sitio de monitoreo intensivo de carbono de 3 km por 3 km, con una torre de flujos de Eddy Covarianza en el centro de 1 km² (tomado de Hollinger 2008).}

1.5.- Proceso de elección del lugar para el establecimiento del SMIC La Encrucijada

La decisión del establecimiento del SMIC La Encrucijada llevó consigo una serie de reuniones entre las instituciones involucradas (Proyecto Fortalecimiento REDD+ y cooperación sur, ECOSUR, CONANP, CONABIO, Servicio Forestal de Estados Unidos y la Universidad de Delaware). A continuación se describe el proceso.

Debido a la heterogeneidad espacial presentes en el área de la reserva respecto a la microtopografía, el tipo de sustrato, nivel de inundación y grado de perturbación (CONANP 2009), así como al efecto que estas variaciones tienen sobre la estructura y composición del bosque de manglar, se propuso establecer dos áreas de monitoreo intensivo. La primera, serviría para cumplir con los requerimientos técnicos para el establecimiento de la torre de flujos y tendrá una dimensión de 1 km². La segunda, será un área de 9 km², en la cual se realice el monitoreo de los cambios en los reservorios de carbono mediante el análisis de datos Lidar, así como de datos provenientes de unidades secundarias de muestreo localizadas en diferentes condiciones de edad del manglar (figura 1).

a) Sitio para el establecimiento de la torre de flujos de Eddy Covarianza (EC)

Las mediciones de flujos ecosistémico con técnicas micrometeorológicas, como la correlación de vórtices (eddy correlation en inglés), son una alternativa útil para monitorear procesos ecosistémicos como el intercambio de agua, carbono y otros gases biogénicos a escalas de “rodal” o parches (e.g. 1 km²; Moncrieff et al. 2000). En el mundo, principalmente en los países desarrollados, esta técnica es ampliamente usada (Balddochi 2008) y la información que se ha obtenido de su uso dentro de redes de monitoreo (e.g. FLUXNET) ha sido toral para el desarrollo de síntesis globales enfocadas al entendimiento del funcionamiento de la biosfera (Beer et al. 2010).

Para implementar el monitoreo de flujos de agua y carbono con esta técnica, se requiere de la instalación de una torre con equipo de micrometeorología a una altura adecuada para conseguir la representatividad y homogeneidad necesaria del ecosistema en todas las direcciones, el que dependerá a su vez de la altura de la vegetación y de la dirección predominante y velocidad media del viento (Moncrieff et al. 2000).

Con el fin de medir el intercambio de CO₂, CH₄, vapor de agua y energía, entre la vegetación de manglar y la atmósfera en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, el Proyecto México-Noruega (PMN) de la CONAFOR junto con el Servicio Forestal de los Estados Unidos comprarán el equipo necesario para la instalación de una torre de Flujos Eddy Covarianza, mientras que El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y la CONANP, serán los encargados del mantenimiento de la torre, la colecta y el análisis de los datos.

En la Tabla 1 y la figura 2, se muestran cuatro áreas que se identificaron como potenciales para el establecimiento de la torre, conforme a discusiones que se realizaron al interior del grupo de participantes sobre el establecimiento del SMIC de la Reserva de la Encrucijada.

Tabla 1. Sitios potenciales para el establecimiento de la torre de flujos EC.

Sitio- Ubicación	Tipo de vegetación	Ventajas	Desventajas
<p>ID 1 (Tahiti). Cerca del campamento de la reserva.</p> <p>Coordenadas: 15°05'35.96'' N 92°46'47.6'' W</p>	<p>Domina <i>R. mangle</i>, seguido de <i>L. racemosa</i>.</p> <p>Hay árboles entre 30 y 35 metros de altura Es un sitio conservado</p>	<p>Accesibilidad a la orilla del sitio por lancha</p> <p>Cerca del campamento de la reserva El radio de 500 m desde la torre, abarcaría en su mayoría bosque de manglar</p>	<p>Dentro de un radio de 500 m, hay áreas de selva baja. Si se tienen que establecer unidad primaria de muestreros de campo a 1 km de distancia, entrarían en áreas de duna costera Está aprox. 600 m del mar, así como a una zona perturbada. Se encuentra muy cercano al mar, lo interferirá con la información que se quiere colectar específicamente del sistema de manglar.</p>
<p>ID 2. Cerca del embarcadero las Garzas- 5 km</p>	<p>Domina <i>R.mangle</i>, le sigue <i>L. racemosa</i>. (Fuente: Cristian Tovilla)</p>	<p>Tiene un área importante de bosque de manglar conservado.</p>	<p>Para instalar la torre se tendría que recorrer al menos 1 km isla adentro con los materiales (estructura de la torre, materiales para el cimiento).</p>
<p>ID 3. 4 km oriente comunidad la Palma</p>	<p>Domina <i>R.mangle</i>, seguido de <i>L. racemosa</i>.</p>	<p>El área de la isla es mayor que la presente en el sitio Tahiti (ID 1) Es el área con mayor extensión de manglar y en mejor estado de conservación.</p>	<p>Alejado de los cuerpos de agua y será complicado transportar hasta ese punto el material para la torre (6 km).</p>
<p>ID 4. Noreste del</p>		<p>Dentro de la zona de manglar más</p>	<p>La cercanía al agua y cobertura agropecuaria puede interferir en los datos</p>

sitio 2		extensa y mejor conservada, pero más fácil acceso	colectados. Se puede considerar avanzar 1 ó 2 km más adentro.
---------	--	---	---

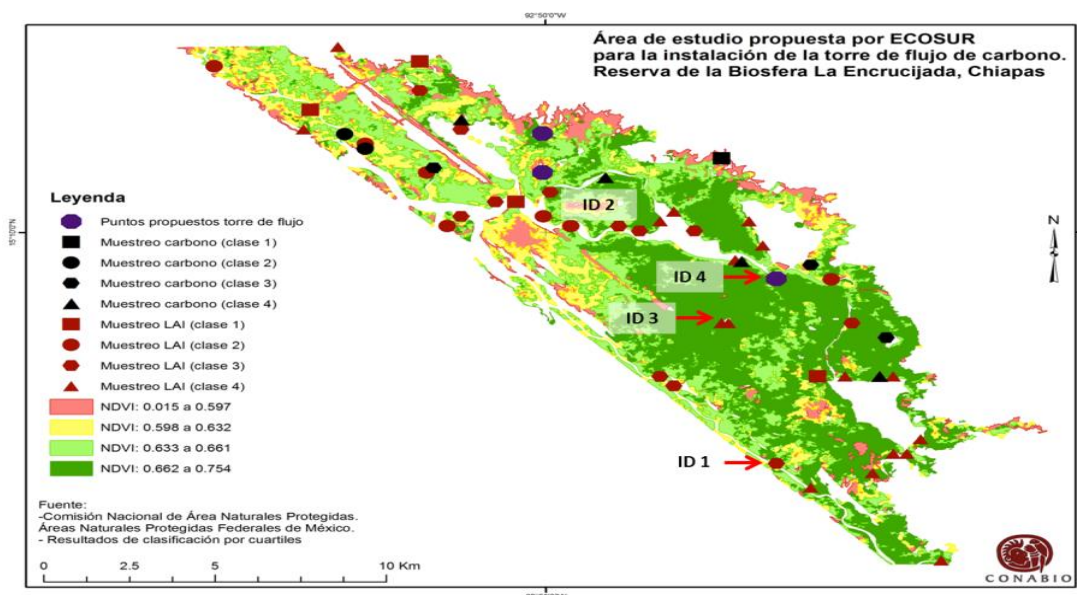


Figura 2. Áreas potenciales (ID sitio) para el establecimiento de la torre de Flujos de EC.

Con base en discusiones entre expertos de ECOSUR, USFS, Silvacarbon, PMN-CONAFOR y la Universidad de Delaware, sobre las características de la Reserva y los requerimientos técnicos de la Torre, se propone a la zona denominada como “La Isla” (ID2). Ésta zona se considera como la más viable, debido a la relativa homogeneidad en la condición del manglar (principalmente bosque maduro), la suficiente distancia que tiene este sitio de otros tipos de cobertura del terreno o de la costa, así como la facilidad para su acceso (figura 3).



Figura 3. Área seleccionada (ID2) para el establecimiento de la torre de Flujos de Eddy Covarianza.

1.5.1.- Localización de la zona.

El área de “La Isla” se encuentra dentro de la zona núcleo de la Reserva y está conformada principalmente por bosques dominados por *Rizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*. En esta zona se propone definir un cuadro de 1 km², el cual contendrá en su centro a la Torre y a su alrededor, ocho USM de monitoreo colocadas de manera sistemática.

En cuanto a las unidades de muestreo, una primera propuesta fue utilizar parte de parcelas cuadrangulares de 400 m² que ECOSUR (con el financiamiento de CONABIO, Tovilla et al 2006, CONABIO 2009) ha establecido en la Reserva desde el año 2009. Una segunda opción consiste en establecer USM de monitoreo similares a las empleadas por la Red de Sitios de Monitoreo Intensivo de Carbono en México (Red MEX-SMIC 2015) y el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFYS) de la CONAFOR. Es decir, UPM constituidos por cuatro USM circulares de 400 m² (figura 4).

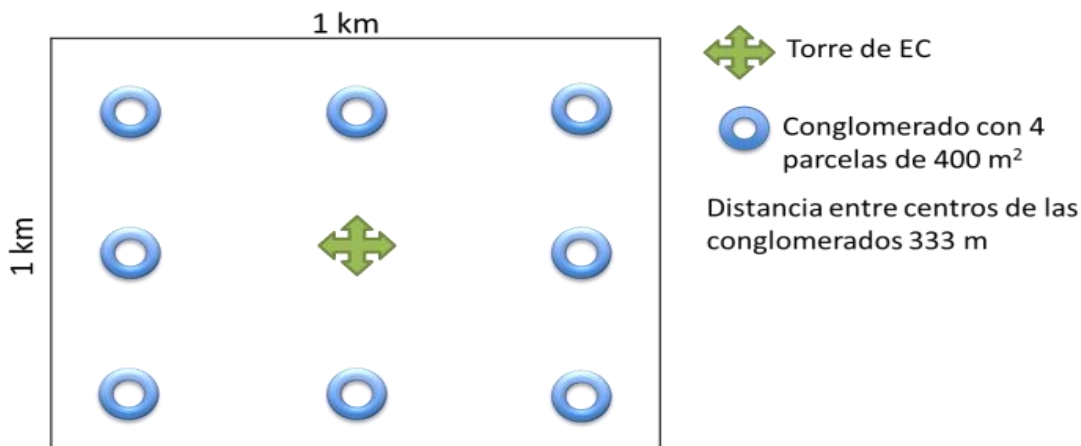


Figura 4. Propuesta del tamaño, forma y distribución de las unidades secundaria de muestreos de monitoreo en campo que contendrá a la torre de Flujos de Eddy Covarianza: 8 UPM circulares con 4 USM de 400 m²

Posterior a estas discusiones, el grupo interinstitucional que participa en el SMIC La Encrucijada, realizó una visita de campo en la cual se identificó el lugar para establecer la torre de flujos de carbono. El lugar que se eligió se encuentra a 550 m del estero principal y 70m de un canal secundario navegable, lo que facilita la instalación de una pasarela para acceder a la torre de flujos.

La disponibilidad de recursos económicos permitió establecer 4 USM tipo Red Mex. SMIC (figura 5), distribuidas sistemáticamente alrededor delo punto de localización de la torre (figura 6).

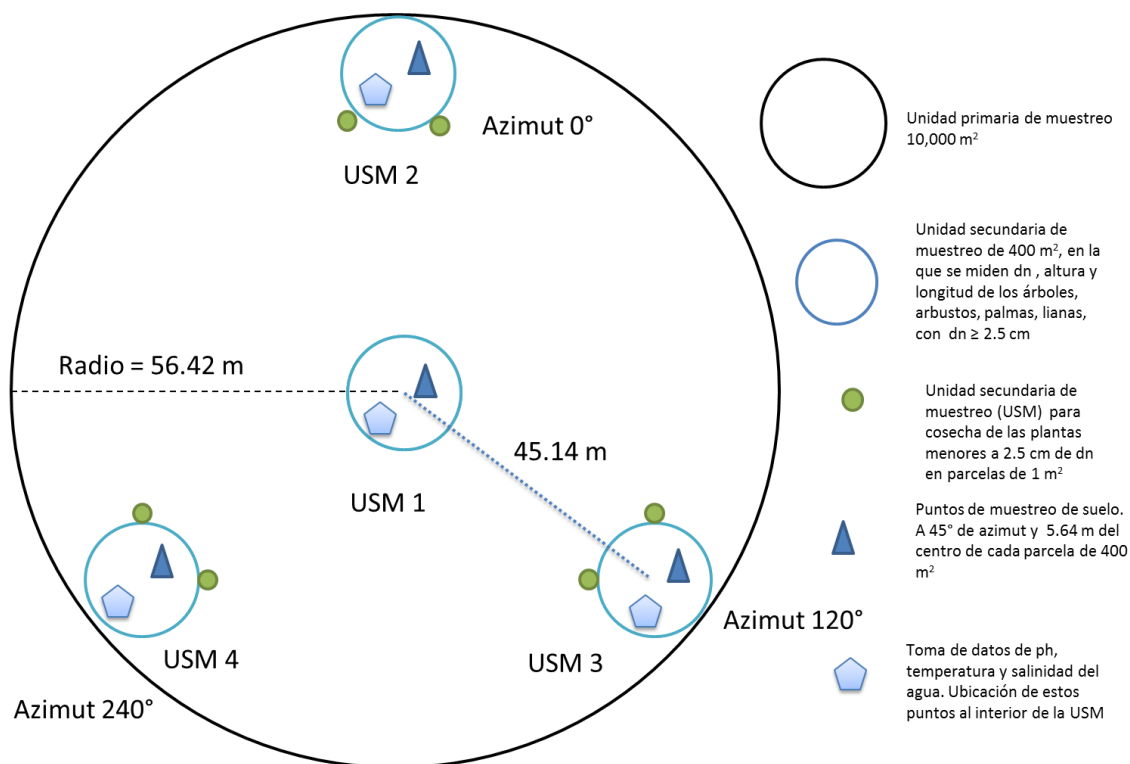


Figura 5. Diseño de la unidad primaria de muestreo (unidad primaria de muestreo) del SMIC La Encrucijada.

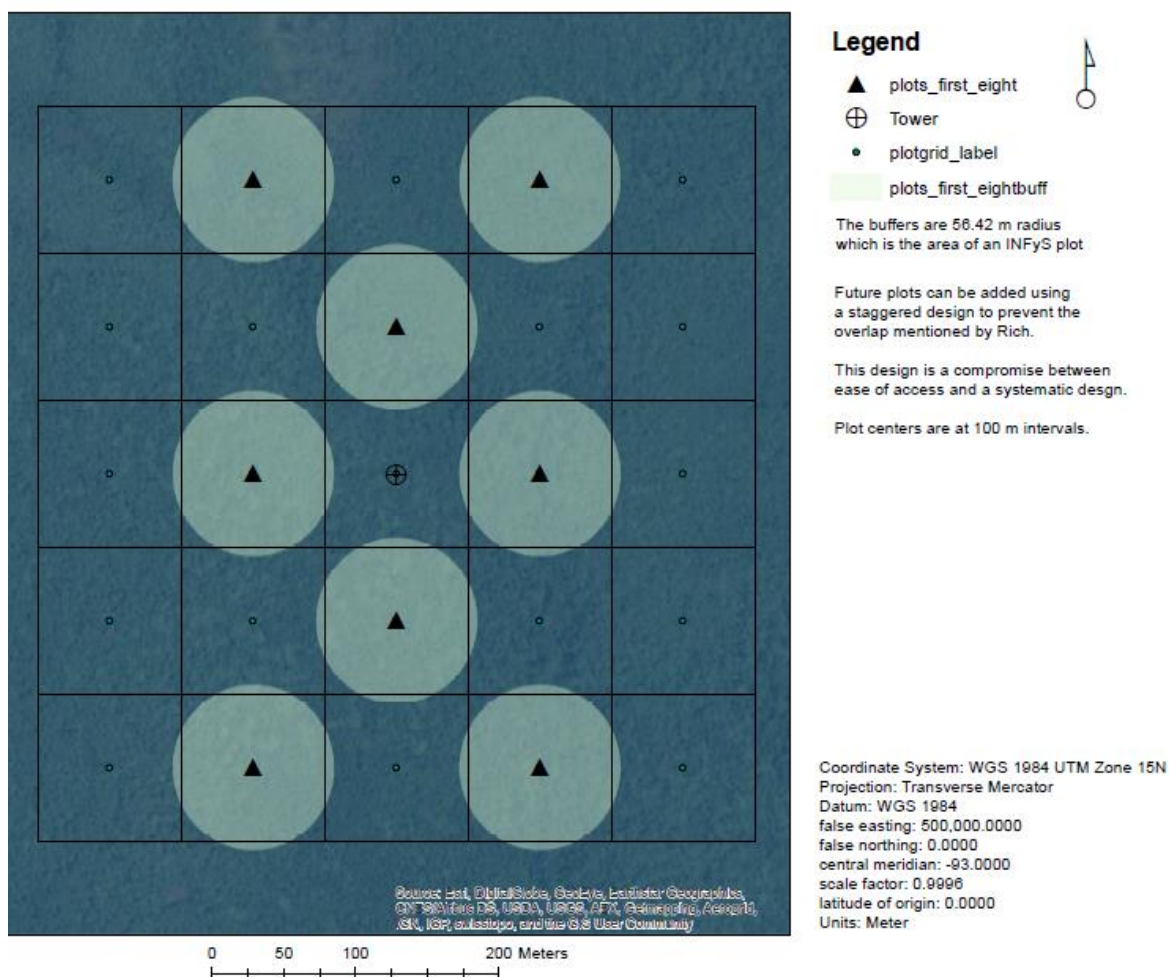


Figura 6. Diseño final del SMIC La Encrucijada. Actualmente solo está trabajando con los 4 UPM de muestreos alrededor de la torre. Fuente: Craig Wayson.

2.0.- Biomasa aérea

Durante los meses de mayo-julio 2015, en las UPM de 400 m² se colectó información del arbolado ≥ 2.5 de dap. Se registró el nombre de la especie, si el árbol está vivo o muerto, altura, longitud, altura del fuste limpio, diámetros de copa (norte-sur; este-oeste), en el caso de *R. mangle* se registró la altura del suelo al cuello que forman los contrafuertes con el tallo principal del árbol (figura 7)

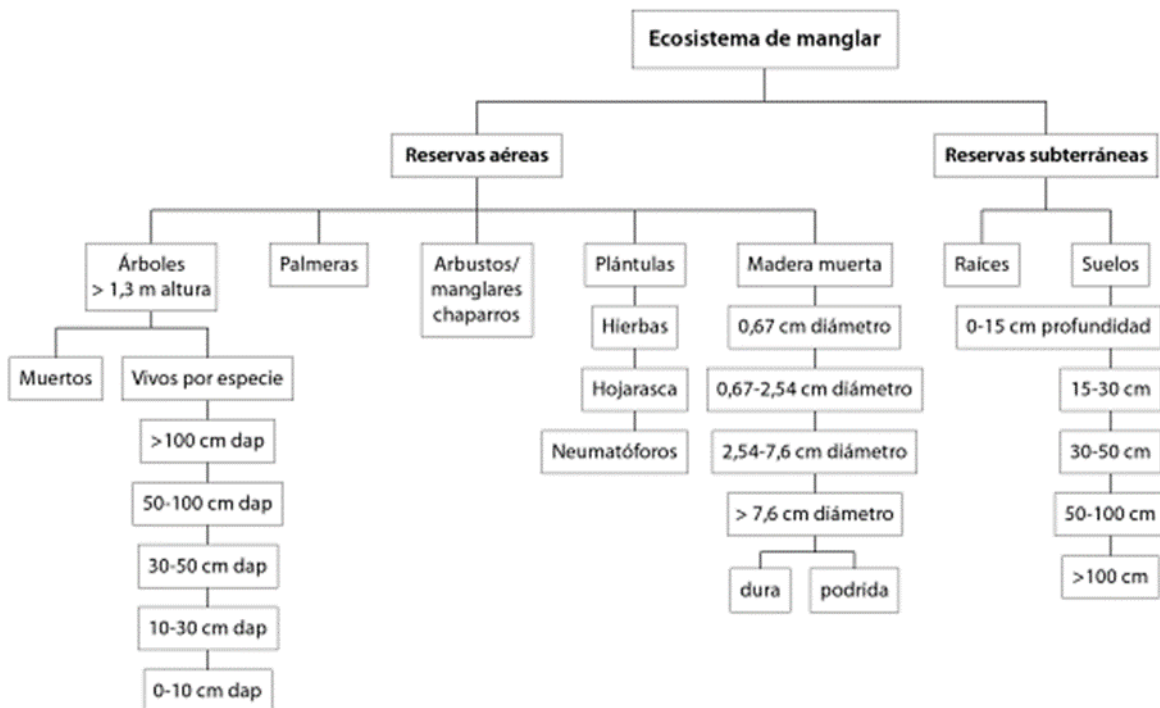


Figura 7 Componentes del ecosistema de manglares para cuantificar biomasa y reservas de carbono.

2.1.- Biomasa viva.

a) Biomasa es la cantidad de materia acumulada en un individuo, una población o un ecosistema.

b) Biomasa es el peso del material vivo que se encuentra en un área en un momento dado. Se puede expresar como peso fresco o como peso seco por unidad de área: g/m²; kg/m²; ton/ha.

2.2.- Biomasa por encima del suelo.

Toda la biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, ramas, corteza, semillas y las hojas (figura 8).



Figura 8. Biomasa encima del suelo (flores, frutos, hojas, materia muerta como ramas).

2.3.- Biomasa por debajo del suelo.

Toda la biomasa viva de las raíces vivas. Las raíces pequeñas de menos de 2 mm de diámetro están excluidas porque éstas a menudo no pueden distinguirse, de manera empírica, de la materia orgánica del suelo u hojarasca.

2.4.- Biomasa de madera muerta.

Toda la biomasa leñosa muerta que no forma parte de la hojarasca, ya sea en pie, sobre el suelo y dentro del suelo. La madera muerta incluye madera que yace en la superficie, raíces muertas y los tocones con un diámetro igual o superior a 10 cm.

2.5.- Estructura y biomasa arbórea madura.

En el bosques de manglar de la Encrucijada, se establecieron 16 sitios de monitoreo; Cuatro conglomerados, cada conglomerado con 4 sitios instalados, en la periferia de la torre (figura 9), esto nos permitirá conocer el estado del bosque, y la vegetación. Para el monitoreo, indistintamente se consideran UM de 400m², circulares siguiendo algunos criterios de Valdez-Hernández (2002), INFyS (2004-2009). En cada Unidad de muestreo (UM), se estimó la estructura-composición de las comunidades de manglar, así como la extracción de madera y el tipo de bosque de manglar, además de las especies dominantes, e impactos sobre la vegetación, esto para evaluar biomasa. En cada UM, se ubicó con un localizador satelital (GPS) las coordenadas del centro de los sitios, tomando el punto georreferenciado con el menor error posible, para ubicar las SMIC dentro del bosque de manglar, a fin de conocer los cambios en la vegetación a lo largo del estudio.

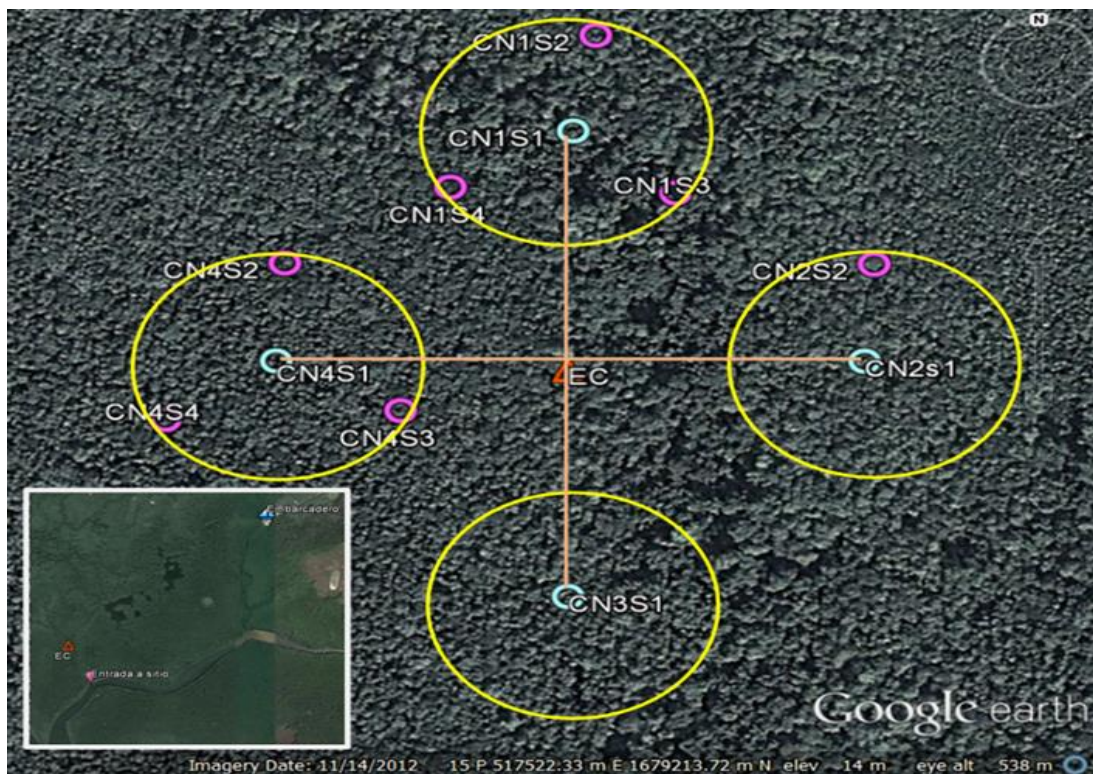


Figura 9 arreglo de los conglomerados en la periferia de la Torre

2.6.- Metodología Biomasa aérea.

2.6.1.- Delimitación de las Unidades de Muestreo (UM).

Para delimitar cada UM, se utilizó cuerdas de plástico y estacas de madera. Todos los árboles de mangle que queden dentro de los 400m² en forma de círculo, y en forma de rebanadas de pastel, (figura 10) tomando el norte como punto de inicio y girando conforme a las manecillas del reloj, estos serán numerados con el individuo más cercano al siguiente, con pintura negra en aerosol, identificados por especie para obtener la densidad y dominancia. Todos los árboles adicionalmente se marcarán utilizando cinchos de plástico y placas de aluminio con la numeración correspondiente al árbol pintado.

2.6.2.- Medición del Dap.

Con una cinta diamétrica se obtiene la medición del Dap (diámetro a la altura del pecho) a todos los árboles y se les agrego una línea pintada donde se midió el Dap (1.3m), esto para que en los siguientes monitoreos, la medición sea en la misma altura, esto se realizara a partir de ≥ 2.5 cm de grosor; (figura 11) similar a cada árbol se registrará la condición del arbolado de acuerdo a los criterio de Cintrón y Schaeffer-Novelli 1983; 1985; Pool et al 1977; Valdez-Hernández (2002).

En *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erectus*, el DAP se tomará a una altura de 1.3 m sobre el nivel del suelo, mientras que en *R. mangle* a 30 cm por encima de la

última raíz aérea (figura 12), donde inicia el fuste de acuerdo a Pool et a (1977), Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984, 1985); y Valdez-Hernández (2002).

En cada UM Se toma el 100% de los árboles contabilizados (figura 13), a estos se estimará la altura total, altura de fuste, y la altura de raíz en Rm, con la ayuda de un Hipsómetro láser (VERTEX IV) (figura 3)

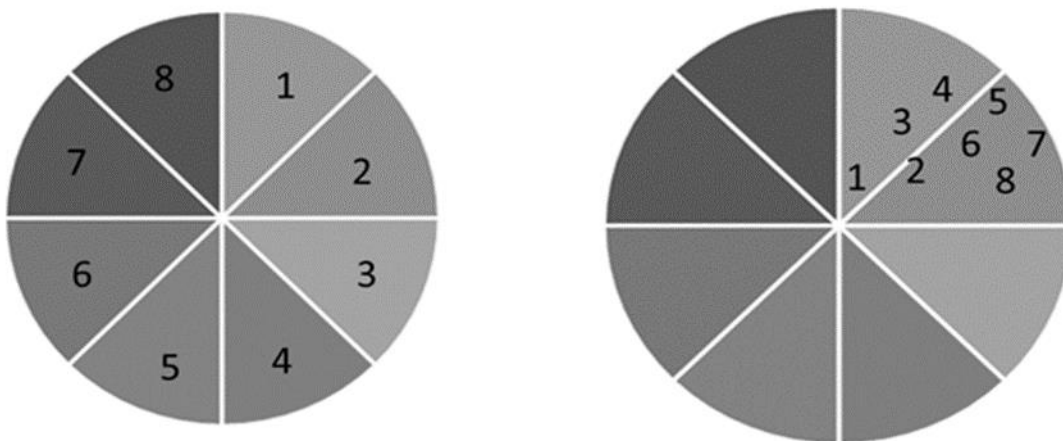


Figura 10. Ubicación los cortes para numerar el sitio, modelo de numeración de los arboles al individuo más cercano.



Figura 11. Medición del Dap a la altura de 1.30m en Lr y en Rm 30cm arriba de la última raíz



Figura 12. Medición de altura y cobertura con Hipsómetro Vertex.

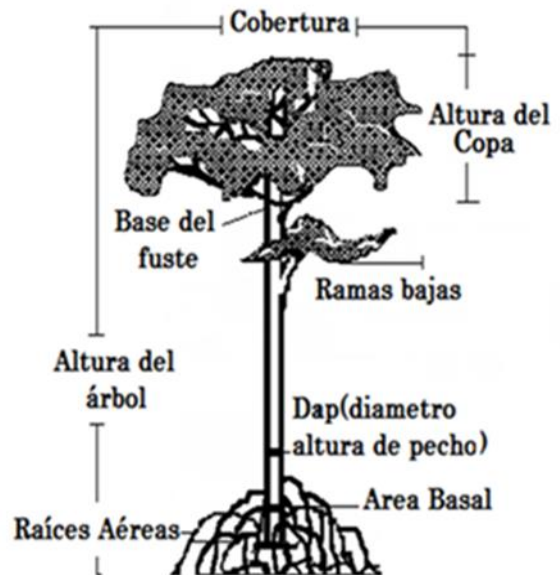


Figura 13. Recolecta de variables dasométrica del arbolado de manglar

2.6.3.- Cobertura arbórea:

Para estimar la cobertura de los árboles, se medirá con cinta métrica o hipsómetro (figura 12), eje mayor y eje menor de la copa, (n-s) (e-o) pasando por el centro del árbol. Con las medidas de los ejes, se calculará el diámetro promedio de la copa, obteniendo el valor de cobertura al estimar el área de la elipse:

$$\text{Área de cobertura} = (e1 + e2) / 4 \pi$$

Dónde: $e1$ = Longitud del eje 1; $e2$ = Longitud del eje 2; $\pi = 3.1416$

El valor de área basal expresado en m^2 , como una función del DAP medido en centímetros, se calculará según la fórmula propuesta por Torres y Magaña (2001):

$$\text{Área Basal} = \pi / 4 (\text{DAP})^2$$

Dónde: DAP = Diámetro a la altura del pecho = 1.3m

Los parámetros calculados; densidad, DAP, área basal, altura, cobertura, extracción y mortalidad natural se clasificaran para cada una de las especie de mangle registradas en cada UM en 10 clases diamétrica: Clase 1: los individuos de 2.5 a 5.0cm de DAP; Clase 2: 5.1 a 7.0; Clase 3: de 7.1 a 10.0; Clase 4: de 10.1 a 15.0; Clase 5: de 15.1 a 20.0; Clase 6: de 20.1 a 25.0; Clase 7: de 25.1 a 30.0; Clase 8: de 30.1 a 35.0; Clase 9: de 35.1 a 40.0; y Clase 10: Individuos > 40.1 en adelante, según lo propuesto por Corella et al., (2004) y Tovilla et al (2007). Para los parámetros densidad, DAP, área basal, altura, cobertura, extracción, mortalidad.

2.6.4.- Estructura y biomasa arbórea renuevos.

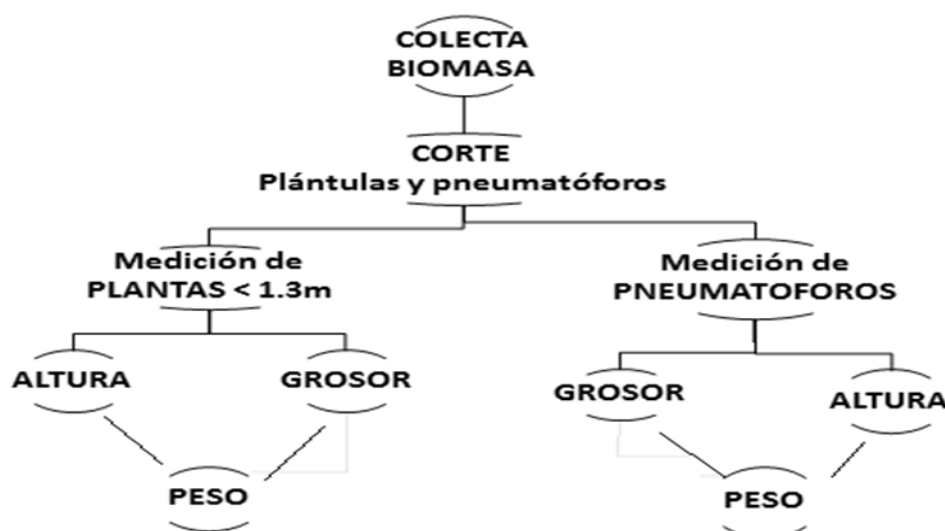


Figura 14. Diagrama recolecta de Biomasa en plantas y pneumatóforos.

El Muestreo de plantas y pneumatóforos se realizó en situs (figura 14). Para efectuar este tipo de muestreo se realizó los siguientes pasos:

Del centro de la parcela se midió en dirección al norte 11.86 m de distancia ver (figura 15) en este punto usamos como centro y colocamos el marco circular de 1m, seguidamente, del interior de este marco se extrajo todas las plantas menores de 1.3m y pneumatóforos, propágulos flores y frutos los cuales fueron medidos de longitud grosor, pesados, registrados, embolsado y etiquetado. Las muestras fueron llevadas al laboratorio para su procesamiento.

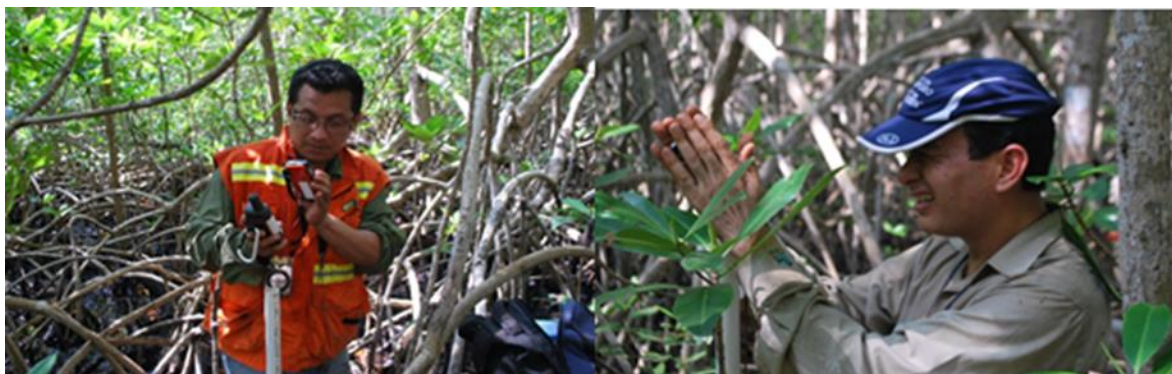


Figura 15. Delimitación de los sitios de colecta de biomasa en plantas y pneumatóforos.

2.7.- Estructura y biomasa de neumatóforos y plantas < 1.3m.

Se delimitó el área para la cosecha de biomasa presente en el sitio marcado como lo muestra la figura 17, se recolecto por el método destructivo, todo lo que está presente en el área (flores, frutos, propágulos) son extraídos. (figura 16).



Figura 16 Cosecha de biomasa (plantas, pneumatóforos, flores, frutos y propágulos) dentro del área correspondiente.

Se evaluó cada planta midiendo la altura con una regla graduada, además de su grosor, tomando la parte media de la planta con un Vernier graduado digital, de la misma forma a los pneumatóforos se realizó los mismos pasos semejantes que las plantas; lo colectado se guardan en bolsas etiquetadas con el número del conglomerado, el sitio, además la parcela que corresponde lo cosechado.

Posteriormente en laboratorio se procesa lo obtenido (figura 17, 18).



Figura 17. Mediciones de biomasa (plantas, pneumatóforos y propágulos) dentro del área correspondiente.



Figura 18. Manejo de biomasa para traslado al laboratorio (plantas, pneumatóforos y propágulos).

2.8.- Biomasa Muerta.

2.8.1.-Evaluación de la extracción forestal.

En cada UM se contabilizó el número de árboles muertos, para conocer el uso de la madera muerta dentro del manglar y los grosores por especie, se evaluó el DAP en los árboles muertos en pie, con algunas características como muertos en pie con ramas y sin ramas y tirados (figura 19), identificando la especie en cada caso bajo los criterios de Pool et a (1977); Cintrón y Schaeffer-Novelli (1984, 1983; 1985); Tovilla et al.,(2007). los diámetros estimados se clasificarán por especie en categorías como se detalla más adelante, así como la longitud de corte de los fustes o trozos de madera (figura 19).



Figura 19. Árboles talados y árboles muertos tirados.

La caracterización de las especies de mangle se realizará in situ. Los parámetros calculados; densidad, DAP, área basal, altura, cobertura, extracción y mortalidad natural se clasificarán en cada UM en Individuos de:

$2.5 \text{ cm} \leq \text{dn} < 7.5 \text{ cm}$.

Individuos de $dn \geq 7.5$ cm.

Los árboles con diámetro normal ≥ 20 cm. en adelante, según lo propuesto por Corella et al (2004) y Tovilla et al (2007). Para los parámetros densidad, DAP, área basal, altura, cobertura, extracción y mortalidad natural, a partir del siguiente año de monitoreo se realizarán una serie de comparaciones entre la serie de datos de un año a otro para conocer incrementos/decrementos en la densidad del arbolado, grosor, área basal, altura, cobertura arbórea extracción, mortalidad y crecimiento de biomasa extraída.

2.9.- Tocones

2.9.1.- Estructura y biomasa arbórea en pie.

Parte del tronco de un árbol que queda unida a la raíz cuando lo cortan por el pie, en cada UM (figura 20), se contabilizó el número de árboles extraídos, midiendo el diámetro de cada tocón. Cada tocón será identificado por especie en base a su altura menor de 1.3. Para conocer el uso de la madera extraída y los grosores más utilizados por especie, los diámetros estimados se clasificarán por especie en categorías descritas anteriormente, así como la longitud de corte de los fustes o trozos de madera.



Figura 20. Tocones de árboles de *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*.

2.9.2.- Muertos en pie.

Los árboles muertos en pie no se consideran madera muerta caída. Para ser considerados como tal, deberán estar separados del árbol madre. Las ramas y los tallos muertos que están unidos al árbol tampoco cuentan como madera muerta caída, estos se cuantifican de acuerdo al tipo de árbol (figura 21).

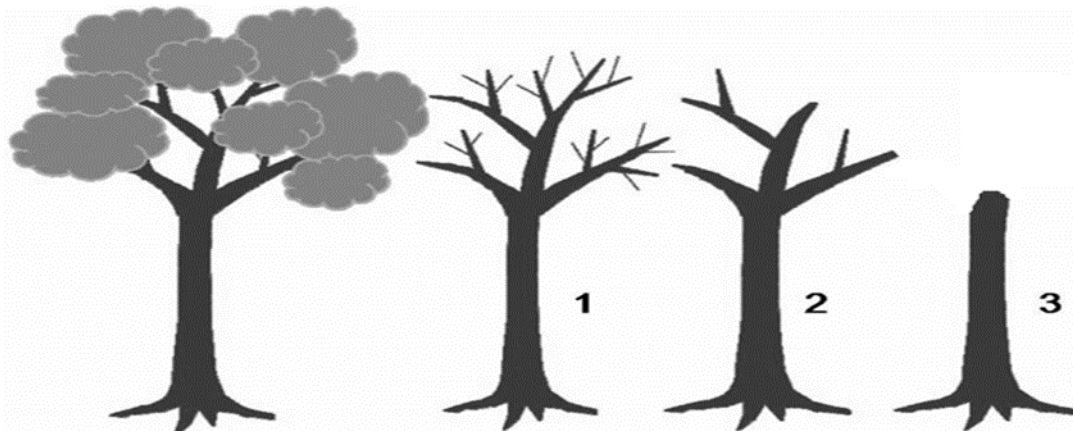


Figura 21. Estado de decaimiento de árboles por clases.

Nota: 1) Los árboles muertos recientemente y mantienen muchas de las ramas finas primarias y secundarias; 2) los árboles sólo conservan algunas de sus ramas secundarias, pero mantienen la mayor parte de las primarias; 3) los árboles son básicamente troncos con pocas o ninguna rama que por lo general están rotos en la punta.

2.10.- Biomasa de raíces.

Biomasa como la cantidad de materia orgánica seca que se encuentra en cierto momento, donde se distingue: biomasa aérea, biomasa subterránea, detritos gruesos, detritos finos y el suelo (Pearson et al. 2005). El 90 % de la biomasa se encuentra acumulada en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica. (Rodríguez et al. 2006).

En relación con materia orgánica en descomposición o muerta (figura 22), pocos estudios han evaluado sus acciones y aún menos han cuantificado sus flujos (Larjavaara & Muller, 2009).

La inferencia del contenido de carbono en el ecosistema, parte de la estimación de la biomasa contenida, la cual está dada principalmente por la relación existente entre esta y la cantidad de carbono contenido cuyo valor corresponde aproximadamente al 50%, relación que se asume en la práctica para las estimaciones (Pearson et al. 2005).



Figura 22. Raíces subterráneas, biomasa acumulada en el subsuelo.

2.11.- Biomasa subterránea

Es un componente importante en los manglares ya que comprende una proporción relativamente mayor del ecosistema que en otros tipos de bosques terrestres. Sin embargo, obtener árboles enteros para determinar ecuaciones alométricas es extremadamente difícil, por lo cual es un componente generalmente fuera del alcance de cualquier proyecto.

Existen muy pocas ecuaciones alométricas para estimar la biomasa subterránea de los bosques y aún menos para manglares. Existen algunas ecuaciones útiles para estimar la biomasa subterránea compiladas en Komiyama et al. (2008); por lo anterior, una importante contribución para la ciencia sería hacer estudios adicionales. La ecuación general reportada por Komiyama et al. (2008) es: $BAS = 0,199 \cdot r_0,899 \cdot (DAP)^{2,22}$ BAS= Biomasa subterránea de árboles (kg), r = densidad de la madera (g/cm^3), DAP= diámetro del tronco a la altura del pecho (cm) Para calcular la biomasa subterránea utilizando la fórmula de Komiyama et al. (2008) se requiere conocer la densidad de la madera de árboles vivos (distinta a la densidad de la madera caída). La densidad de la madera puede ser muy variable en individuos de la misma especie en diferentes sitios. Por lo tanto, es recomendable usar valores de densidad de la madera específicos de la zona de estudio.

La densidad de madera (gravedad específica) puede encontrarse en bases de datos de agencias forestales o puede calcularse con muestras colectadas en la zona de estudio. Como alternativa, la base de datos del Centro Mundial Agroforestal (World Agroforestry Centre, 2011), así como Hydayat y Simpson (1994), Simpson (1996) y Zanne et al. (2009) proporcionan valores de la densidad de madera de diferentes regiones. El carbono de la masa subterránea de los manglares (raíces) puede calcularse multiplicando la biomasa por la concentración de carbono.

La concentración Para facilitar la separación de las raíces, esta actividad se puede hacer con el suelo húmedo, pero si así se hiciera, es necesario tomar el peso en húmedo de toda la muestra de suelo (antes de separar las raíces), para tener el peso de referencia.

Una vez que se han separado las raíces, se deberán poner a secar a 60 °C, y registrar el peso seco de ese componente. Este valor se restará a la cantidad total de la muestra para tener un valor más preciso del suelo mineral.

2.12.- Estimación de carbono en biomasa aérea

Se está trabajando en la captura de la base de datos, para su posterior control de calidad y estimación de carbono a nivel individuo y paisaje.

3.0.- Suelo

El componente subterráneo es por lo general, el más importante en los manglares y su medición es indispensable para determinar las dinámicas a largo plazo del cambio climático y el manejo del uso de suelo. Frecuente, las reservas subterráneas constituyen más del 50%, y a veces hasta el 90%, de la reserva total del carbono de un ecosistema de manglar (Figura 23).

En cada USM se toma un punto de muestreo de suelo. Se utiliza un nucleador de acero inoxidable para obtener las muestras. Del material extraído se separan las muestras de las siguientes profundidades: 0-10; 10-20; 20-30; 30-50 y 50 - 100 cm. Las tres primeras muestras se llevan en su totalidad a laboratorio para obtener la densidad aparente y preparar muestras para la determinación de carbono. En la muestra de 30-50 cm se obtiene una muestra de 10 cm de grosor de la parte media de la sección (30-50 cm) para la densidad aparente, el resto del material se lleva a laboratorio para preparar una muestra para la determinación de carbono. En la muestra de 50-100 cm se procede de la misma manera que para la sección de 30-50 cm.

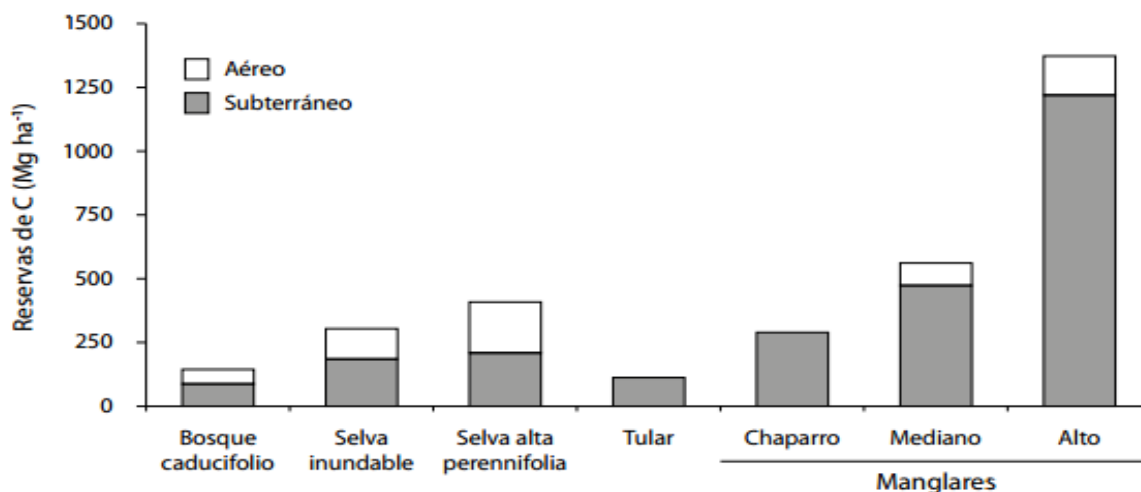


Figura 23. Reservas de carbono (aéreas y subterráneas) de bosques tropicales en México
Fuente: Datos de: Adame et al. (2013), Jaramillo et al. (2003) y Hughes et al. (2000).

A pesar de su importancia, el suelo es el componente menos estudiado en los manglares. Esto probablemente se deba a la dificultad de obtener estimaciones adecuadas y al reciente reconocimiento de la importancia de los manglares como reservas de carbono a nivel global.

Los suelos orgánicos de los humedales son diferentes a los terrestres y, por lo general, son más difíciles de muestrear. A la fecha, no existe una metodología o equipo único para muestrear suelos debido a la gran variabilidad de su contenido orgánico y la profundidad. Para medir de forma adecuada las reservas de carbono en el suelo, deben considerarse tres parámetros:

- 1) profundidad del suelo.
- 2) densidad, del suelo.
- 3) concentración de carbono orgánico.

Es importante tomar en cuenta el número de muestras, la localización de los puntos de muestreo dentro de la parcela y la profundidad a la que se toma la muestra. Debido al costo y la dificultad asociados a este tipo de muestreo, hay que intentar coleccionar la cantidad mínima de muestras necesaria para calcular de forma precisa las reservas de carbono del subsuelo. Por lo general, los manglares tienen suelos orgánicos ricos en carbono que miden desde 50 cm hasta más de 3.0 metros. Varias estimaciones en bosques terrestres limitan sus muestreos a los primeros 30 cm, ya que la mayoría del carbono se encuentra a tal profundidad, y es esta capa la más vulnerable a cambios de uso del suelo. En los manglares, sin

embargo, el uso del suelo y el cambio climático afectan capas más profundas del suelo; por ejemplo:

- a).-El secamiento del suelo.
- b).-La oxidación del suelo.
- c).-El colapso de los suelos.

Por lo tanto, es recomendable muestrear por lo menos los primeros 100cm de suelo en sitios con más de un metro de profundidad. Para comparar con otros ecosistemas, el perfil del suelo deberá ser muestreado por lo menos en los primeros 30cm y deberán incluirse muestras representativas de la profundidad entre 30 y 100 cm. Kauffman et al. (2011) y Donato et al. (2011), Muestrearon suelos de manglares a diferentes profundidades y sugieren las siguientes divisiones para muestrear el componente subterráneo de los manglares: 0-15cm, 15-30cm, 30-50cm, 50-100cm, y mayores a 100cm.).

3.1.- Diseño del muestreo

Para representar de manera adecuada la variabilidad del COS (coeficiente de ocupación del suelo), se pueden hacer ejercicios de estimación del número mínimo de muestras para dicha variable, empleando datos previos generados en el sitio de interés, o si no se tienen se podrían usar datos de variables relacionadas, como la materia orgánica del suelo.

En los casos en los cuales se conoce a detalle la relación de otras características del sitio con el COS (tipo de vegetación, tipo de suelo, relieve y uso de suelo), se puede utilizar esa información para estratificar el sitio, de modo que se puedan distribuir las muestras adecuadamente en cada estrato. Sin embargo, es recomendable seguir un diseño de muestreo sistemático, ya que bajo este enfoque se muestrea de manera homogénea el sitio por lo que se espera representar la variación que ahí existe, y se evita el sesgo en el muestreo.

3.2.- Método de muestreo

Para muestrear los suelos en manglares es necesario medir la profundidad, esto puede ser extremadamente difícil, sobre todo en manglares ribereños donde los sedimentos depositados pueden exceder los 3m de profundidad, en estos sitios la profundidad total del suelo no puede ser estimada. Este método más común y simple, consiste en tomar una muestra de suelo con un cilindro de volumen conocido, con lo cual se puede intensificar el muestreo. No es recomendable para suelos muy pedregosos ya que excluye de la muestra piedras

mayores al diámetro del cilindro, y puede compactar la muestra (Lichter y Costello 1994, Burton y Pregitzer 2008).

Al usar este método se debe tener cuidado para evitar huecos o espacios al interior del cilindro. Por lo que la reserva de carbono deberá reportarse hasta la profundidad medida con el nucleador y deberá indicarse la profundidad mínima del suelo orgánico. Al llegar al sitio para muestrear, se toma el punto central del sitio, le damos dirección de 135° sureste y caminamos 5.65m ahí es donde se inserta el nucleador de forma vertical hasta que la parte superior del nucleador esté al nivel del suelo. Si el nucleador no logra penetrar hasta el fondo, no hay que forzarlo (es probable que una raíz esté obstruyendo el paso (figura 24).



Figura 24. Trabajo con el nucleador dentro de las áreas de manglar.

Una vez introducido el nucleador, debe rotar o girar un par de veces para cortar las raíces delgadas que obstruyen al nucleador (figura 2). Finalmente, deberá jalarse el nucleador con la muestra al mismo tiempo que se gira. Si se obtiene una muestra perturbada, habrá que limpiar el nucleador e intentarlo de nuevo en otro punto.

Cuando esto ocurre, es importante recordar que esta es en parte cuando se muestrean suelos altamente orgánicos. Una vez que se logra obtener una muestra intacta, deberá medirse el tamaño del núcleo y las profundidades de donde se tomarán las muestras (figura 24).

3.3.- Procesamiento de muestras.

Esto se puede hacer con una regla o cinta métrica, y pueden tomarse submuestras en diferentes rangos de profundidades, ya que el contenido de

carbono disminuye con la profundidad, comparando con bosques terrestres. El tamaño de las submuestras es por lo general de 10 cm las submuestras deberán colectarse en la parte central de cada rango de profundidad. Por ejemplo, de 0-10cm ,10-20, 20-30, 30-40, 40-50 y así sucesivamente hasta donde el nucleador contenga muestra, al final se hace una muestra compuesta de 2 o más submuestras (figura 25).



Figura 25. Procesamiento del suelo extraído del sistema en los sitios de colecta

Para mejorar la eficiencia del muestreo, puede tomarse una sola muestra para medir la densidad relativa y la concentración de carbono y otros análisis adicionales que se requieran, como el de nutrientes. Las muestras deben colocarse en un recipiente o bolsa de plástico bien identificado con marcador indeleble con el nombre del sitio, número de parcela, profundidad del suelo, fecha y cualquier otra información relevante (figura 26). Se recomienda poner las muestras en la estufa, esto para un secado más rápido y para disminuir la actividad microbiana (degradación del carbono).



Figura 26 Muestras del laboratorio secándose en forma natural y en sombra y con un proceso de secado a menos de 40°C.

3.4.- Procesamiento en laboratorio.

Los análisis de suelos suelen requerir un previo secado de la muestra y, a menudo, su posterior tamizado. Sin embargo, si tales operaciones no se llevan a cabo con el cuidado oportuno, los resultados de los análisis no serán correctos. En los suelos ácidos, el secado al aire produce un incremento del fósforo soluble en agua o disminuye el fósforo soluble en ácido. Pero si se seca a altas temperaturas, este incremento puede ser cercano al cien por ciento.

Los suelos alcalinos, al secarse, liberan menos fósforo que si no realizamos tal operación. En algunos suelos, el proceso de secado puede afectar la capacidad de fijación de fósforo y ello está relacionado con cambios en el contenido de aluminio y hierro. Los suelos secados al aire pueden liberar más sulfatos a las soluciones extractoras, que si es extraído en fresco.

El pH de algunos suelos y particularmente, los que contienen compuestos sulfatados, pueden sufrir cambios drásticos por tal operación. Suelos que contienen sulfuros o azufre elemental, cuando son secados al aire desarrollan pH menores en dos unidades, cuando con anterioridad a este proceso resultan ser neutros. Las repercusiones son químicas y biológicas. Este último factor influye también al incrementar el manganeso intercambiable.

En la determinación de textura, la deshidratación irreversible, causa cementación de las partículas arcillosas que no pueden ser dispersadas (Hesse 1971). El secado en ocasiones se realiza a pleno sol, sin embargo lo más recomendable realizarlo en la sombra. A pleno sol y dependiendo del material sobre el cual se realice, se pueden alcanzar temperatura entre 40 y 50° C, como puede suceder en las azoteas de algunos laboratorios o sus patios al aire libre.

Esto que puede provocar cambios importantes y afectar seriamente la veracidad de los resultados y por ende su aplicabilidad.

Posterior a la toma de muestra en campo, se requiere de un procedimiento en laboratorio, el cual debe ser cuidadoso ya que ello también influye en la precisión de los datos finales. El procesamiento de las muestras en laboratorio se divide y va en dos vías:

3.4.1.-Determinar el contenido de humedad del suelo,

Nos permitirá asignar un peso de la fracción fina del suelo con una base en seco.

Cada una de las bolsas con suelo debidamente etiquetada se puso a secar en sombra para eliminar el exceso de agua de la muestra (figura 27), después de este proceso de pre-secado se realiza el pesado de la muestra completa (figura 27).



Figura 27. Presecado de muestra y peso húmedo total de la muestra.

Posteriormente se toma una submuestra por bolsa con una lata para suelo de volumen conocido (para este caso se empleó una lata de 27 cm^3) (figura 28). Se registra el peso de cada lata y se llena con la muestra procurando no

compactar el suelo. Se tara en cero la balanza y se pesa nuevamente la lata pero ahora con la muestra de suelo.



Figura 28 Sub-muestra de suelo en lata y proceso de secado en la estufa.

El proceso de secado de la submuestra se lleva a cabo en una estufa a una temperatura de 60° C. Las muestras en las latas después de 36 a 40 horas son pesadas cada dos horas hasta alcanzar el peso seco constante (figura 29). El tiempo de la muestra en la estufa para alcanzar peso constante a 60° C, fue de aproximadamente 36 a 42 horas. Finalmente después de alcanzar el peso constante de la muestra, se obtuvo el peso final y cada una muestra fue envasado en bolsas con su respectiva etiqueta. En total se colectaron 100 muestras de suelos que correspondieron a 16 perfiles de suelo.



Figura 29 Peso seco de la muestra después de registrar peso constante.

3.4.2.-Preparación de las muestras, para determinar la concentración de carbono.

La cual debe ser lo más representativa posible. El tamizado y la molienda del suelo son una parte clave del proceso. En laboratorio se separan las muestras y se colocan en recipientes las muestras (figura 30), se remueven para un mejor secado se deja transcurrir durante un tiempo determinado *(Tapachula, es un lugar muy húmedo, por lo cual las muestras se metieron a un secador con una temperatura menor o igual a 40°C)



Figura 30 Tratamiento de las muestras de suelo separación, molienda (molino manual) hasta el pesado para su embolsado.

Las muestras secas se pasaron a un molino para una mayor trituration y poder pasar por el tamiz de malla 2mm. Antes separar (raíces, caracoles, ramas) (figura 31)



Figura 31 Tamiz de 2mm para las muestras, muestra que no pasan el tamiz, peso de las muestras en húmedo, extraídas en el nucleador.

Se separan los materiales que no pasen el tamiz, el tamizado es un método físico para separar mezclas. Consiste en hacer pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz o cedazo. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas por el mismo, la muestra debe ser triturada en su totalidad y se pueda tener toda la cantidad muestreada. (figura 32)



Figura 32 Tamiz de 2mm para las muestras, pesado de Las muestras y separación de las raíces extraídas en el nucleador.

Al tener las muestras en su totalidad se pesa aproximadamente 100g para su envío a COLPOS para su determinación de carbono presente en el suelo. (figura 33)



Figura 33 Muestras con diferente coloración de la materia orgánica, listas para su etiquetado.

Los materiales obtenidos en la separación como lo muestra la figura 34 se ponen a secar a 60° asta peso constante.



Figura 34 Muestras de las raíces, caracoles y pneumatóforos encontrados en los suelos extraídos de los sitios.

Hay distintas técnicas para la determinación o estimación del carbono orgánico del suelo; los más simples son los basados en la cuantificación de la materia orgánica, ya sea por combustión húmeda (Walkley y Black 1934) o por incineración (Davies 1974).

4.0.- Realización de dos talleres para la concientización de la torre en la Encrucijada, Acapetahua, Chiapas:

- Construcción de una pasarela para la torre de covarianza de vórtices con personal del instituto de ecología INECOL. Octubre 2015
- Taller de seguridad en la operación de instrumentos en torre de covarianza de vórtices, Instructor; Robert S. Evans; Plant Physiologist USDA, Forest Service; Northwest Regions. Diciembre 2015

5.0.- Referencias

Adame, M.F., J.B Kauffman, I. Medina, J.N. Gamboa, O. Torres, J. Caamal, J. A. Herrera-Silveira (2013). Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. PLoS ONE. 8: e56569.

Adame, MF, NS Santini, C Tovilla, A Vázquez-Lule, and L Castro. 2015. "Carbon stocks and soil sequestration rates of riverine mangroves and freshwater wetlands." Biogeosciences Discussions 12:1015-1045.

- Alongi, D. M. 2002. "Present state and future of the world's mangrove forests." *Environmental Conservation* 29 (3):331-349. doi: 10.1017/s0376892902000231.
- Alongi, DM. 2009. *The Energetics of Mangrove Forests*. Australia: Springer.
- Alongi, Daniel M. 2011. "Carbon payments for mangrove conservation: ecosystem constraints and uncertainties of sequestration potential." *Environmental Science & Policy* 14 (4):462-470. doi: 10.1016/j.envsci.2011.02.004.
- Barr, Jordan G., Vic Engel, Thomas J. Smith, and Jose D. Fuentes. 2012. "Hurricane disturbance and recovery of energy balance, CO2 fluxes and canopy structure in a mangrove forest of the Florida Everglades." *Agricultural and Forest Meteorology* 153:54-66. doi: 10.1016/j.agrformet.2011.07.022.
- Birdsey, R. 2012. Estimación del presupuesto de carbono en bosques usando sensores remotos, inventarios, sitios intensivos y modelos. Third Workshop on Forest Carbon Monitoring. USDA-Forest Service/FMCN/COLPOS. <http://fs-ip.fsl.orst.edu/carbonmeasurement/2012>
- Birdsey, R., G. Angeles-Perez, W. A. Kurz, A. Lister, M. Olguin, Y. Pan, C. Wayson, B. Wilson, and K. Johnson. 2013. "Approaches to monitoring changes in carbon stocks for REDD+." *Carbon Management* 4 (5):519-537.
- Bouillon, Steven, Alberto V. Borges, Edward Castaneda-Moya, Karen Diele, Thorsten Dittmar, Norman C. Duke, Erik Kristensen, Shing Y. Lee, Cyril Marchand, Jack J. Middelburg, Victor H. Rivera-Monroy, Thomas J. Smith, III, and Robert R. Twilley. 2008. "Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates." *Global Biogeochemical Cycles* 22 (2). doi: 10.1029/2007gb003052.
- Burton, A.J. y K.S. Pregitzer. 2008. Measuring forest floor, mineral soil, and root carbon stocks. En: C.M. Hoover (ed). *Field Measurements for Forest carbon Monitoring*. Springer, Nueva York, pp. 129-142.
- Adame, Maria Fernanda, J. Boone Kauffman, Israel Medina, Julieta N. Gamboa, Olmo Torres, Juan P. Caamal, Miriam Reza, and Jorge A. Herrera-Silveira. 2013. "Carbon Stocks of Tropical Coastal Wetlands within the Karstic Landscape of the Mexican Caribbean." *Plos One* 8 (2). doi: 10.1371/journal.pone.0056569.
- Cintrón, G. y Y. Shaeffer-Novelli. 1983. *Introducción a la Ecología del Manglar*. Oficina regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe – ROSTLAC, Montevideo. 106 p.
- Caamal, J. 2012. *Almacenes de carbono en manglares de Celestún, Yucatán*. Tesis Maestría, CINVESTAV, Mérida, México. pp 55.
- Cintron, G. y Y. Shaeffer-Novelli 1984. Methods for studying mangrove structure. In S. C. Snedaker and J. G. Snedaker (Eds.). *The mangrove ecosystem: research methods*. UNESCO, Paris, Francia: 91-113.

- Cintrón, G. y Y. Scheffer. 1985. Características y desarrollo estructural de los manglares de norte y sur América. *Ciencia Interamericana*, 3: 4-15.
- CONAFOR. 2008. Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2008. Comisión Nacional Forestal-SEMARNART. México.
- CONABIO. 2009a. Manglares de México: Extensión y distribución. 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 p
- CONABIO. 2009b. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México D.F.
- CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. 2012. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Remuestreo 2012. CONAFOR.
- Davies BE. 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J. Proceedings* 38:150-151.
- Donato DC, Kauffman JB, Murdiyarsa D, Kurnianto S, Stidham M, et al. (2011) Los manglares entre los bosques más ricos en carbono en los trópicos. *Nature Geoscience* 4: 293 a 297. doi: 10.1038 / ngeo1123.
- Fourqurean, J, B Johnson, J Kauffman, H Kennedy, C Lovelock, J Megonigal, A Rahman, N Saintilan, and M Simard. 2014. Coastal Blue Carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal marshes, and seagrass meadow Edited by J Howard, S Hoyt, K Isensee, E Pidgeon and M Telszewski. Arlington, Virginia, USA: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Friess, D. A., and E. L. Webb. 2014. "Variability in mangrove change estimates and implications for the assessment of ecosystem service provision." *Global Ecology and Biogeography* 23 (7):715-725. doi: 10.1111/geb.12140.
- Friess, D. A., J. Phelps, E. Garmendia, and E. Gomez-Baggethun. 2015. "Payments for Ecosystem Services (PES) in the face of external biophysical stressors." *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 30:31-42. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.10.013.
- GIEC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry - Glossaries ingles de USCUSF).
- Giri, C., E. Ochieng, L. L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek, and N. Duke. 2011. "Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data." *Global Ecology and Biogeography* 20 (1):154-159. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x.
- Hollinger, D. 2008. Defining a Landscape-Scale Monitoring Tier for the North American Carbon Program. En: Hoover, C. (Ed.) *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring*. Springer-NY, USA. pp 3-16.

- Hughes, R.F., J. B. Kauffman y V. J Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological Applications*. 10:515-527.
- Hydayat, S. y W.T. Simpson, 1994. Use of green moisture content and basic specific gravity to group tropical woods for kiln drying. Research Note FPL-RN-0263, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- INE 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La encrucijada, Chiapas. INE-SEMARNAP. 185 pp.
- INFyS Manual y procedimientos para el muestreo de campo de Inventario Nacional Forestal y de Suelos México 2004-2009
- Jaramillo V. J., Hernández R. y Kauffman J.B. 2003a. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. *Journal of Tropical Ecology* (2003) 19:457–464.
- Kauffman, J. B. y T. Cole. 2010. Micronesian mangrove forest structure and tree response to a severe typhoon. *Wetlands*.
- Komiyama, A., J. E. Ong y S. Pongpan, 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89: 128-137.
- Larjavaara, M. & Muller, H. 2009. Woody debris research: Overview. Global Forest Carbon Research Initiative.
- Lichter, J. M. and L. R. Costello. 1994. An evaluation of volume excavation and core sampling techniques for measuring soil bulk density. *Journal of Arboriculture* 20(3): 160- 164.
- Murdiyarmo, Daniel, J. Boone Kauffman, and Louis V. Verchot. 2013. "Climate change mitigation strategies should include tropical wetlands." *Carbon Management* 4 (5):491-499. doi: 10.4155/cmt.13.46.
- Nettel, A., Dodd, R.S., Afzal-Raffii, Z., Tovilla-Hernández, C. 2008. Genetic diversity enhanced by ancient introgression and secondary contact in east Pacific black mangroves. *Molecular Ecology*, 17(11): 2680-2690.
- Pearson, T. Walker, & S. Brown, S. 2005. Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the Bio Carbon Fund of the World Bank. 64 p.
- Pool. D.J. S.C. Snedaker y A.E. Lugo. 1977. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, México and Costa Rica. *Biotropica* 9 (3): 195-212.
- Red Mex SMIC. 2015. Protocolo para la estimación de la dinámica del carbono forestal en sitios de medición intensiva: un enfoque multi-escala. Proyecto

Fortalecimiento REDD+ y cooperación sur sur. CONAFOR, PNUD, CICY, COLPOS, UYO´OLCHE, USD Forest Services

- Rodríguez, R. Jiménez, J. Aguirre, O. & Treviño, E. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. CIENCIA UANL 9: 179p.
- Siikamaeki, Juha, James N. Sanchirico, Sunny Jardine, David McLaughlin, and Daniel Morris. 2013. "BLUE CARBON Coastal Ecosystems, Their Carbon Storage, and Potential for Reducing Emissions." *Environment* 55 (6):14-29. doi: 10.1080/00139157.2013.843981.
- Simpson, W.T., 1996. Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: Tropical and temperate hardwoods. RPL-RP-548, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Tovilla H. C., R .L. R. Salas, P. J.C. de la Presa, E. I. B. Romero, E. F. Ovalle y O. R. Gómez 2007. Informe Final : Inventario Forestal de los Bosques de Manglar del Soconusco, Gobierno del Estado de Chiapas-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología COCyTECH-CONACyT Laboratorio de Ecología de Manglares y Zona Costera, El Colegio de La Frontera Sur, Ecosur. Tapachula, Chiapas, México, 100p.
- Tovilla, H. C. 2006. Propuesta para la conservación, manejo y restauración en los manglares de la costa de Chiapas. Laboratorio de ecología de manglares y zona costera, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula y Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas. Tapachula, Chiapas México, 148 pp
- Valdez-Hernández, I. 2002. Aprovechamiento forestal de manglares en el estado de Nayarit, Costa Pacífica de México. *Madera y Bosques*, Número especial: 129-145.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Zanne, A.E., López-González, G.*, Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., y Chave, J. 2009. Global wood density database. *Dryad*. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.