



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto de
Investigaciones de la
Amazonía Peruana - IIAP



TALLER

MÉTODOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE DATOS PARA ESTIMAR RESERVORIOS Y FLUJOS DE CARBONO EN BOSQUES TROPICALES



Fotos: J. del Aguila © IIAP

Iquitos, Perú

20 y 21 de diciembre del 2013

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las instituciones involucradas como el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), el Gobierno Regional de Loreto (GOREL) y Global Ecosystems Monitoring Network (GEM), quienes hicieron posible la realización de este taller.

El taller fue parte del plan de transferencia de tecnologías aplicadas en la medición de los reservorios y flujos de carbono desarrollado por el Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES) del IIAP. La fuente de financiamiento fue obtenida directamente a través del IIAP.

Asimismo, este taller no hubiera sido posible sin las personas que brindaron su apoyo y colaboración como expositor Carlos Gabriel Hidalgo Pizango y en la logística como Dennis del Castillo Torres, Ricardo Farroñay Peramas, Maria Elena Rojas Peña y Kenny Tairon Gomez Vela.

Finalmente, también se agradece a los participantes por su increíble interés y por su motivación para realizar un aprendizaje mutuo.

Jhon del Aguila

Auspiciadores:



TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	1
TABLA DE CONTENIDOS	2
INTRODUCCIÓN.....	3
PONENTES	4
CRONOGRAMA DEL TALLER	5
LISTA DE PARTICIPANTES	6
EXPRESIÓN DE INTERÉS DE LOS PARTICIPANTES	8
METODOLOGÍA	11
CONTENIDO DEL TALLER	12
Medición del ciclo del carbono en bosques de la amazonia peruana	12
Resumen de protocolos de muestreo para estimación de reservorios y flujos de carbono	16
Metodologías para el muestreo de reservorios de carbono	17
Metodologías para el muestreo de los flujos de carbono	21
Protocolos de campo para el muestreo del reservorio de carbono	21
Protocolos de campo para el muestreo de los flujos de carbono	25
INFORME DE GRUPOS DE TRABAJO	28
RESERVORIO DE CARBONO EN ÁRBOLES DE MÁS DE 10 CM DE DIÁMETRO	28
ANEXOS	31

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe gran interés por monitorear el impacto del cambio climático sobre los ciclos biogeoquímicos en los bosques tropicales, especialmente el ciclo del carbono; ya que dos de sus formas gaseosas (dióxido de carbono y metano) representan un gran porcentaje de los gases de efecto invernadero (GEI), cuyas emisiones desproporcionadas aceleran el fenómeno conocido como cambio climático.

Además, en los últimos años, ha surgido otro gran interés el desarrollo de proyectos de pagos por servicios ambientales, los cuales podrían significar, si son bien dirigidos, una de las formas más adecuadas de mitigar el cambio climático debido a que cubriría necesidades ecológicas y sociales.

Para ambos fines, en primer lugar se debe conocer cuánto de carbono se almacena en los diferentes ecosistemas presentes en nuestra región y como se ve afectado por los factores externos, ya sean ambientales (lluvias, incrementos de temperatura, etc.) o antropogénicos (deforestación, degradación, etc). Para esto es necesario implementar metodologías estandarizadas que puedan ser aplicadas por distintas entidades gubernamentales, no gubernamentales e incluso los mismos pobladores o comunidades indígenas de nuestra región.

Por lo tanto, a través del Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios ambientales (PROBOSQUES) del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) se realizó este taller que fue dirigido por investigadores nacionales, quienes intercambiaron sus conocimientos y experiencias con los asistentes al taller.

PONENTES

Jhon del Aguila Pasquel

Biólogo, investigador, Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES), Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP).



Carlos Gabriel Hidalgo Pizango

Biólogo, asistente de investigación, Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES), Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP).



CRONOGRAMA DEL TALLER

DIA 1 – Sábado 21 de Diciembre

Lugar: Auditorio Jaime Moro del IIAP.

- | | |
|----------|--|
| 8.30 am | Inauguración del evento (Ricardo Farroñay Peramas). |
| 8.45 am | Tema 1: El ciclo del Carbono en bosques tropicales (Gabriel Hidalgo Pizango). |
| 9.45 am | Tema 2: Resumen de protocolos de muestreo para estimación de reservorios y flujos de carbono. Parte I (Jhon del Aguila Pasquel) |
| 10.45 am | BREAK |
| 11.00 am | Tema 3: Resumen de protocolos de muestreo para estimación de reservorios y flujos de carbono. Parte II (Jhon del Aguila Pasquel) |
| 12.30 m | RECESO |

Lugar: Jardín Botánico del GOREL

- | | |
|---------|---|
| 2.00 pm | Tema 4: Aplicación de protocolos para colecta de datos (Jhon del Aguila Pasquel y Gabriel Hidalgo Pizango). |
|---------|---|

DIA 2 – Domingo 22 de Diciembre

Lugar: Auditorio José López Parodi del IIAP.

- | | |
|----------|--|
| 8.30 am | Tema 5: Cálculos para estimar reservorios y flujos de carbono. Parte I (Jhon del Aguila). |
| 10.45 am | BREAK |
| 11. am | Continuación Tema 5. |
| 12.30 m | RECESO |
| 2.00 pm | Tema 6: Cálculos para estimar reservorios y flujos de carbono. Parte II (Gabriel Hidalgo Pizango). |
| 4.00 pm | Tema 7: Implicancias, recomendaciones y preguntas de investigación (Jhon del Aguila Pasquel). |
| 4.30 pm | Clausura del evento (Ricardo Farroñay Peramas). |

LISTA DE PARTICIPANTES



Ministerio
del Ambiente

Instituto de
Investigaciones de la
Amazonía Peruana - IIAP



TALLER: “MÉTODOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE DATOS PARA ESTIMAR RESERVORIOS Y FLUJOS DE CARBONO EN BOSQUES TROPICALES”

Iquitos, 21 y 22 de Diciembre del 2013

Participantes

N°	NOMBRES Y APELLIDOS	INSTITUCIÓN	CARGO	CORREO ELECTRÓNICO	TELÉFONO
1	Aleardo Bartens Ferrando	UNAP	Estudiante pregrado	magisho_1492@hotmail.com	995041639
2	Ana Claudia Rios Araujo	UNAP	Egresada	anad_91@hotmail.com	964952674
3	Annie Julissa Escobedo Grandez	SERNANP	Especialista	aescobedo@sernanp.gob.pe	987496718
4	Bening Alegría Torres	UNAP	Egresado	beningat22@hotmail.com	965018917
5	Bryan Jordy Arévalo Rodríguez	UNAP	Estudiante pregrado	bryan_jar@hotmail.com	991537318
6	César Abel Sosa Lázaro	UCP	Egresado	cesar.sosalazaro@gmail.com	943627583
7	César Junior Calderón Rengifo			cesar_calderonrengifo@hotmail.com	965334585
8	Claudia del Aguila Martinez	UNAP	Egresado	claudita_dm12@hotmail.com	943991583
9	Cristhian Benjamin Gomez Rios			benjamin_gomez_19@hotmail.com	#965007065
10	Daniel García Cortegano	IIAP	Investigador	garciacortegano@yahoo.es	#949905820
11	Erick Joe Dossantos Macedo	UNAP	Egresado	dosan_21@hotmail.com	941824296
12	Estela Salazar Piña	UNAP	Estudiante pregrado	estela.salazar.21@hotmail.com	944132879
13	Francisca Inuma Oliveira	UNAP	Estudiante pregrado	frances_19@hotmail.com	944632678
14	Francisco Alción Vásquez Arévalo	IIAP	Voluntario	fvasquezare@gmail.com	#969914196
15	Gilberto Enrique Navarro Aguilar	UNALM	Estudiante posgrado	e.navarroaguilar@gmail.com	996799493

16	Greicy Victoria Macedo Mori	UNAP	Estudiante pregrado	grei220_91@hotmail.com	949603419
17	Jack Carlos Shapiama Riz	IIAP	Asistente de investigación	ick_riz@hotmail.com	
18	Jhon Arthur Arevalo Trujillo	UNAP	Tesista	jhonarthur_18@hotmail.com	965846786
19	Jhonatan Samir Chuquimbalqui Najar	UNAP		samj_892@hotmail.com	#943154772
20	Joan Sanchez Matos	UCP	Egresado	joansm_90@hotmail.com	941886886
21	Joaquin Abel Grandez Casado	UNAP	Estudiante pregrado	joagrandez@gmail.com	#969845624
22	Joe Maco García	IIAP	Investigador	jmaco@iiap.org.pe	#700094
23	Jorge Luis Bardales Pérez	UNAP	Estudiante pregrado	jobape17@gmail.com	965686194
24	Jorge Miguel Espiritu Pezante	UNAP	Docente	jespe2610@outlook.com	965387813
25	Kenny Tairon Gómez Vela	IIAP	Investigador	kennygomez86@hotmail.com	995651965
26	Leandro Gadiel Ihuraqui Tuisima	IIAP	Tesista	leandro_gadiel2@hotmail.com	955891553
27	Luis Alberto Garcia Ayachi	UNAP	Egresado	lagayachi@gmail.com	965350892
28	Luis Alberto Torres Sinarahua	UNAP	Egresado	latorresh@outlook.com	969630648
29	María de Fátima Arévalo Flores	UNALM	Estudiante pregrado	fatima.arevalo@hotmail.es	983735990
30	María Elena Rojas Peña	IIAP	Tesista	mrojas0321@gmail.com	965869795
31	Patricia Cristina Márquez León	UNAP	Egresado	pmarquesleon@hotmail.com	965932577
32	Patricia Giovanna Gonzales Grández	UNAP	Egresada	pgiovannagg90@gmail.com	957436083
33	Santiago Manosalva Cruzado	UNAP		manosalva15@hotmail.com	234581
34	Surecht Alberto Ruiz Ramos	UNAP	Egresado	surecht@hotmail.com	221014
35	Victor Juan Ulises Rodríguez Chuma	DAR	Asistente SIG	vrodriguez_c@hotmail.com	979049259
36	Willer Eufenio Ruíz Tamani	UNAP	Tesista	willer_189@hotmail.com	961506757

Expositores

37	Jhon del Águila Pasquel	IIAP	Investigador	jhonpasquel@gmail.com	991673112
38	Carlos Gabriel Hidalgo Pizango	IIAP	Asistente de investigación	cgabriel.hidalgo@gmail.com	965729012

EXPRESIÓN DE INTERÉS DE LOS PARTICIPANTES

Tengo interés de participar en el curso debido a que al haber hecho una maestría en manejo y conservación de bosques tropicales, tengo el interés de fortalecer mis conocimientos en temas relacionados y este taller es el mejor espacio para adquirirlos. A pesar de que actualmente no desarrollo trabajos/estudios en temas de manejo de bosques, me gustaría aprender a estimar reservorios y flujos de carbono para aplicarlos e enriquecer los análisis/informes de la gestión de este importante hotspot que represente la zona del Tigre-Pucacuro donde la reserva se ubica, y en general en otros ambientes de bosques tropicales.

Annie Julissa Escobedo Grandez
Especialista del SERNANP

Me permitirá conocer el ciclo de carbono en bosques tropicales, cálculos para estimar reservorios y flujos de carbono, entre otros, permitiendo estas fortalecer nuestras capacidades y nuestro desarrollo como buenos profesionales. Teniendo en cuenta también que es una oportunidad importante de participar ya que tendrán expositores e investigadores de gran jerarquía.

Bening Alegría Torres
Egresado de la UNAP

Durante la última década se ha incrementado el interés por el desarrollo de proyectos de pagos por servicios ambientales, los cuales podrían mitigar el cambio climático. Para esto, es necesario conocer cuánto de carbono se almacena en los diferentes ecosistemas y como se ve afectado por los factores externos, ya sean ambientales (lluvias, incrementos de temperatura, etc.) o antropogénicos (deforestación, degradación, etc). Por estos motivos mi interés radica en aprender metodologías que permitan medir la biomasa y el carbono almacenado en los diferentes ecosistemas.

Bryan Jordy Arevalo Rodriguez
Estudiante de pregrado UNAP

Mi interés en ser partícipe de este curso de "Reservorio de Carbono", dado la importancia de dicho tema y con mucha mayor razón por encontrarnos en la amazonia peruana.

César Abel Sosa Lázaro
Egresado de la UCP

El interés hacia este curso nace porque mi tema de tesis fue Secuestro de CO₂ y Almacenamiento de carbono en plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis* de tres edades diferentes en el CIEFOR Puerto Almendras, la cual perteneció a un proyecto Macro de la UNAP, por lo que tuve que ajustarme a ciertas cosas con respecto a la metodología (principalmente a las fórmulas para el cálculo de biomasa) que a mi parecer no eran del todo correctas y que podía haber sido mejor.

Claudia del Aguila Martinez
Egresado de la UNAP

Mi interés radica, que en estos momentos estoy realizando y culminando la Tesis (sustenté el 23 de diciembre del 2013), en el cual el taller es de suma importancia, la tesis que estoy realizando es sobre el almacenamiento de carbono en dos tipos de bosque en RNAM, por tal motivo me llega a querer participar en el taller para tener más énfasis en la aplicación de otras metodologías y ampliar mis conocimientos en temas correspondientes a carbono.

Erick Joe Dossantos Macedo
Egresado de la UNAP

Me gustaría tener una visión más global de la situación del tema a tratar.

Estela Salazar Piña

Estudiante pregrado de la UNAP

Deseo conocer sobre la captura de carbono en el suelo.

Jack Carlos Shapiama Riz

Asistente de investigación de IIAP

Mi especial interés por el curso es por razones de tesis, estoy desarrollando mi tesis en el tema de Capacidad de Captura de Carbono en las parcelas que cuenta la Facultad de Forestales, específicamente en el Arboretum el Huayo.

Jhon Arthur Arevalo Trujillo

Tesista de la UNAP

Estoy interesado en el taller mencionado líneas arriba, ya que tuve la oportunidad de llevar el curso el año pasado, y deseo aprender más sobre los métodos, sobre todo la fase de campo.

Joan Sanchez Matos

Egresado de la UCP

Mi interés por seguir el taller fue el de conocer y aprender cuales son los métodos y el trabajo que se realiza para el flujo de carbono en los bosques además es de gran beneficio para poder mejorar como profesional.

Jorge Luis Bardales Pérez

Estudiante pregrado de la UNAP

Actualmente soy investigador del proyecto "Valoración económica del secuestro de CO₂ en plantaciones del CIEFOR Puerto Almendras".

Jorge Miguel Espiritu Pezante

Docente de la UNAP

Es un tema muy importante en estos tiempos más que todo saber cómo se determina el carbono orgánico en el suelo.

Francisca Inuma Oliveira

Estudiante pregrado de la UNAP

El motivo para participar del curso es para afianzar conocimientos del tema. Considero una buena oportunidad para realizar análisis de flujos de carbono, por ejemplo, para el proyecto de maestría que estoy desarrollando.

Gilberto Enrique Navarro Aguilar

Estudiante posgrado de la UNALM

Me parece muy interesante e importante asistir y ser partícipe de este taller, ya que como universitaria y estudiante de la carrera de ingeniería ambiental, estos temas son de mucho interés para buscar posibles soluciones y sobre todo gestionar para el tratamiento adecuado de estos problemas ambientales y disminuir su impacto en la naturaleza.

Greicy Victoria Macedo Mori

Estudiante pregrado de la UNAP

Siendo el tema sobre secuestro de carbono un tema de vanguardia, muy interesante tanto para el medio ambiente como para la humanidad, es factible analizar de qué manera se podrá mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático. Por tal razón mi interés de ser partícipe del curso.

Kenny Tairon Gómez Vela
Investigador del IIAP

Área el fortalecimiento de conocimientos básicos que será de mucho provecho en mejorar la toma de información, realizar investigaciones a base de flujo de carbono en las zonas inundables, mejorar la calidad de vida de los agricultores a través de la investigación.

Leandro Gadiel Ihuaraqui Tuisima
Tesista del IIAP

El motivo por lo que participo en el curso es para aprender la importancia de estudiar y analizar el proceso biogeoquímico del carbono y como ayuda a mitigar el cambio climático.

Luis Alberto Torres Sinarahua
Egresado de la UNAP

El tema de captura y almacenamiento de carbono es muy conocido y tocado hoy en día y es una de las formas de proteger el medio ambiente a través de la venta de servicios ambientales por ello la intención es conocer y aprender sobre el proceso que se lleva a cabo para obtener estos resultados y su implicancia en la sociedad y el cambio climático. Otro motivo es de incrementar mis conocimientos y poder aplicarlos en el futuro.

Patricia Cristina Márquez León
Egresado de la UNAP.

Nos permitirá conocer el ciclo de carbono en bosques tropicales, cálculos para estimar reservorios y flujos de carbono, entre otros, permitiendo estas fortalecer nuestras capacidades y nuestro desarrollo como buenos profesionales. Teniendo en cuenta también que es una oportunidad importante de participar ya que tendrán expositores e investigadores de gran jerarquía.

Surecht Alberto Ruíz Ramos
Egresado de la UNAP

Expectativa de fortalecer mis capacidades y conocimiento en los temas a desarrollarse durante el taller.

Victor Juan Ulises Rodríguez Chuma
Asistente SIG de DAR

Me interesa por tener pensado realizar tesis de pregrado en "análisis del suelo" y de esta manera estar al tanto de los nuevos métodos que se desarrollan para el estudio y evaluación del carbono en este componente.

Willer Eufenio Ruíz Tamani
Tesista de la UNAP

METODOLOGÍA

El taller tuvo dos días de duración y se constituyó de una parte teórica y otra práctica. La teoría se realizó el primer día por la mañana (4 horas) en las instalaciones del auditorio del IIAP “Jaime Moro Somo”. La práctica de campo se realizó el primer día por la tarde en las instalaciones del Jardín Botánico del Gobierno Regional (3 horas). Asimismo, el segundo día se realizó el análisis de los datos levantados en la práctica de campo y otros obtenidos previamente (7 horas).

Hubo un total de treinta y ocho (38) participantes, entre estudiantes, técnicos, profesionales y personas interesadas en el tema.

El desarrollo del taller fue muy activo y participativo, a fin de despertar y mantener el interés de los asistentes en cada una de las exposiciones, y motivarlos a para iniciarse en el tema de la estimación de los reservorios y flujos de carbono de bosques tropicales.

Se facilitó el constante intercambio de opiniones en cada tema y sesión, y se hizo una apropiada combinación de exposición dialogada, lluvia de ideas, demostración de método, y visita de intercambio de experiencia; teniendo al proyector de imágenes y la laptop como principales ayudas didácticas.

Para la práctica de campo se organizaron tres grupos de trabajo en los temas de interés. Cada grupo estuvo dirigido por los expositores y un monitor con experiencia en la colecta de datos. Además, cada grupo presentó un pequeño informe de los datos analizados.

CONTENIDO DEL TALLER

Medición del ciclo del carbono en bosques de la amazonia peruana

El ciclo de carbono es un ciclo biogeoquímico que abarca varios niveles dentro del ecosistema global. En cada uno de estos niveles, hay varios componentes donde el carbono está ingresando o saliendo en alguna de sus formas: orgánica como la biomasa e inorgánica como el dióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4). Este ciclo ha siempre existido y ha formado parte de un sistema equilibrado, sin embargo debido a la acción antrópica este ciclo ha sido alterado notablemente. La **Figura 1** describe este ciclo con el mayor detalle posible.

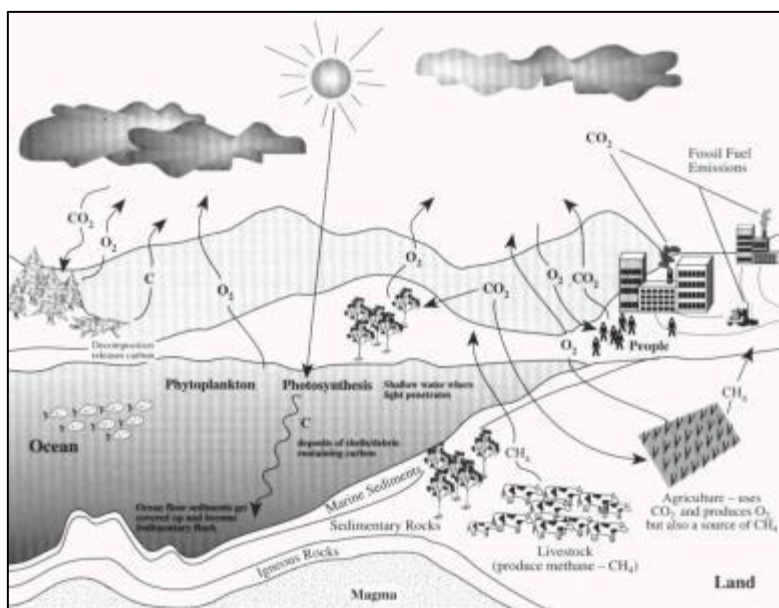


Figura 1. Ciclo de carbono en el ecosistema global.

Entre los componentes del ciclo los bosques cumplen un papel dominante por formar un reservorio de carbono de importancia global. De estos, los bosques tropicales representan la mayor cantidad tal y como se ve en la **Figura 2**.

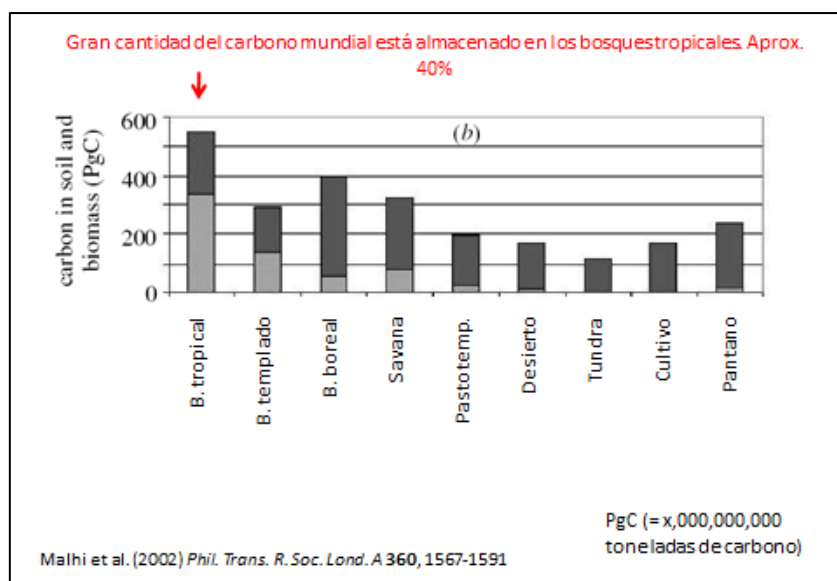


Figura 2. Carbono almacenado en tipos de bosque.

En ese sentido, los bosques tropicales de mayor extensión son los bosques de la amazonia con 7 millones de km². Ahí radica la importancia de estudiar los bosques amazónicos de nuestra región. Este tipo de bosque es altamente dinámico y por lo tanto es necesario saber dónde está almacenado el carbono.

Asimismo, debemos tener en cuenta que la cantidad de carbono almacenado en los componentes del ciclo es denominado reservorio de carbono y los flujos de carbono son los factores o procesos que afectan al reservorio de carbono.

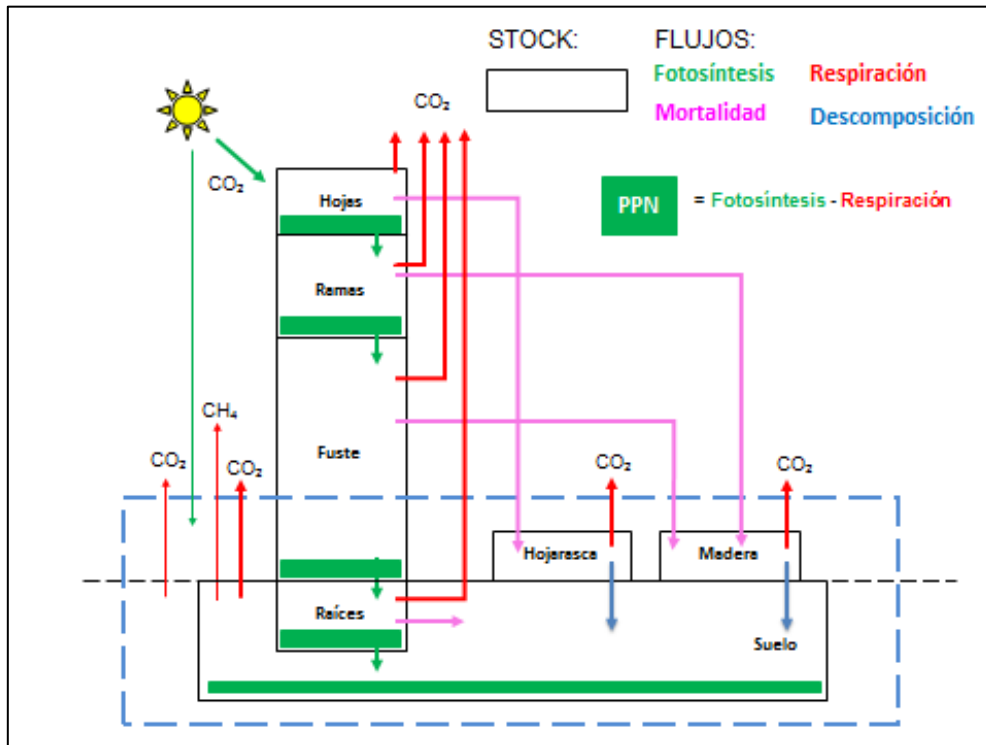


Figura 3. Resrvorios y flujos de carbono en un bosque amazónico.

De esta manera el reservorio de carbono está agrupado en tres componentes principales en biomasa viva, necromasa y suelo. La unidad habitual de los reservorios es Mg C ha⁻¹ o t C ha⁻¹ y existe una relación 1:2 entre el carbono y la biomasa.

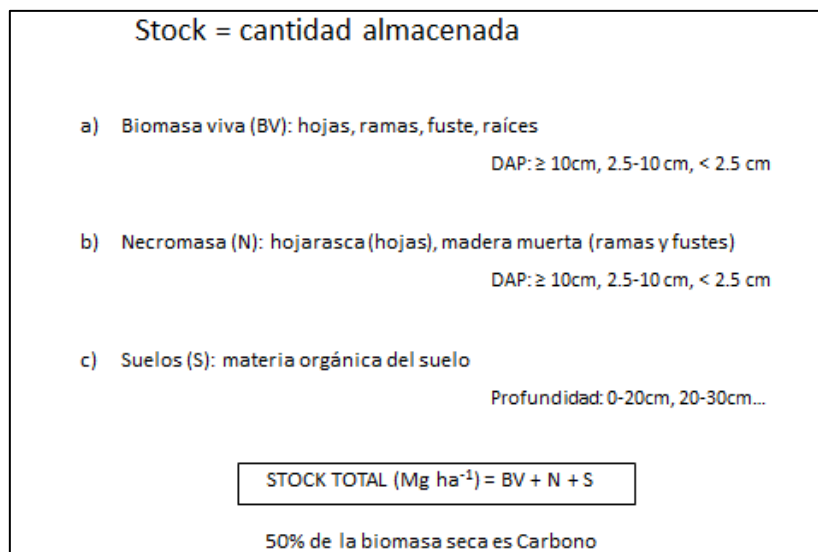


Figura 4. Componentes del reservorio de carbono.

El valor promedio de la biomasa viva sobre el suelo para los bosques del amazónicos peruanos es de 304 Mg ha^{-1} . Esto involucra fustes, ramas y hojas vivas.

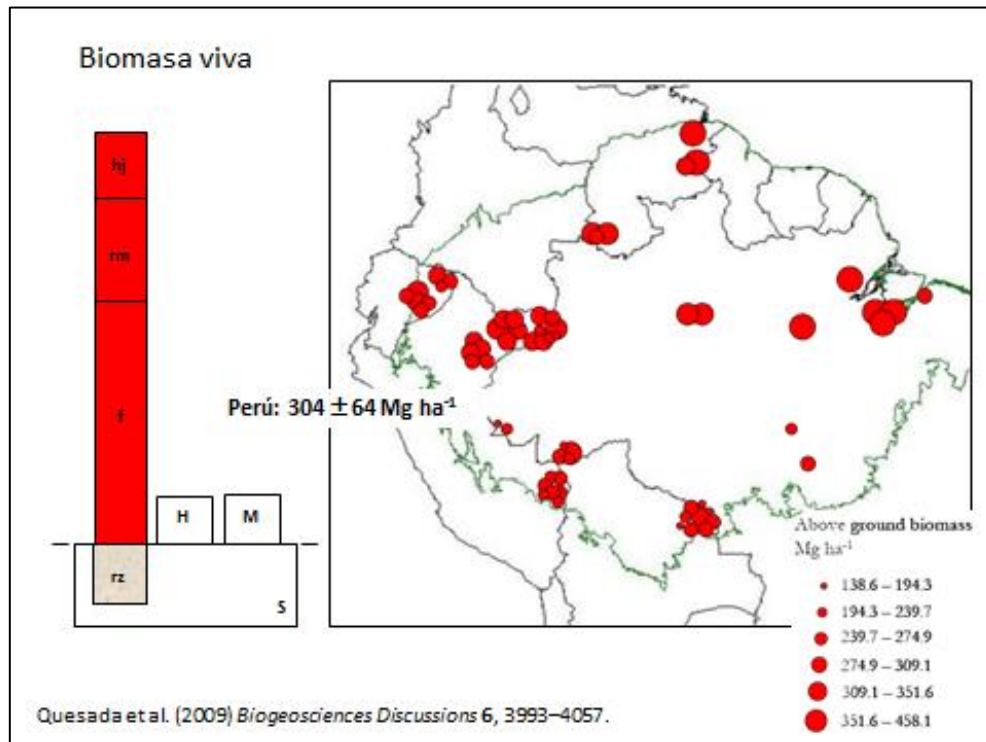


Figura 5. Biomasa viva sobre el suelo en bosques de la cuenca amazónica.

Los flujos de carbono también pueden agruparse en tres componentes: productividad, mortalidad y descomposición. La unidad habitual de los flujos de carbono es $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ o $\text{t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

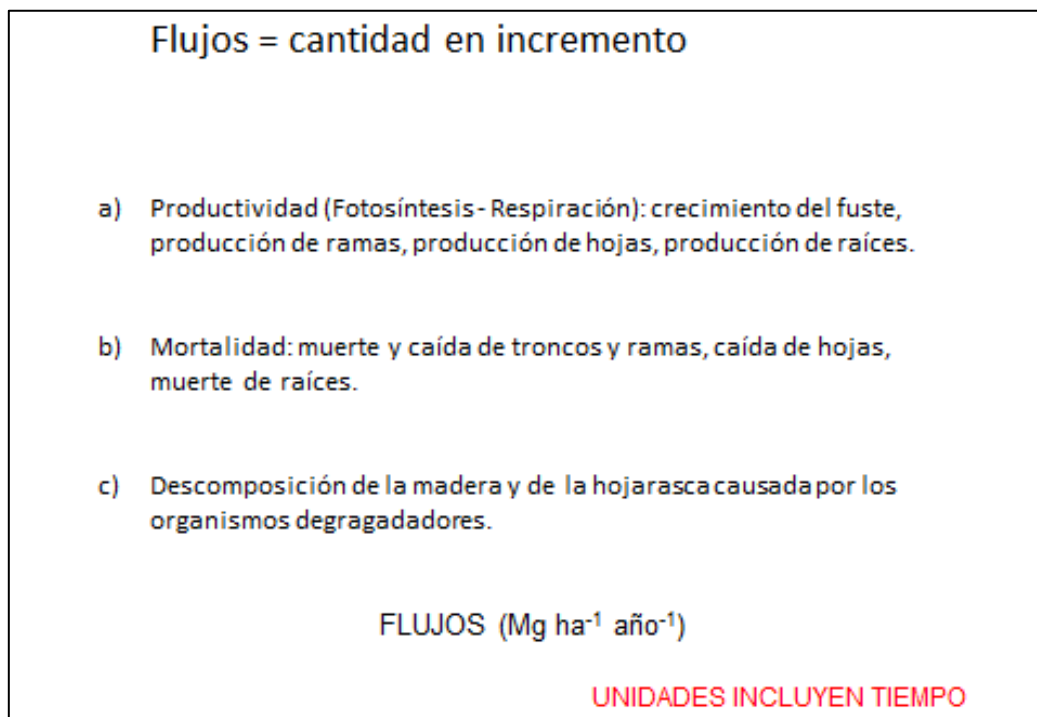


Figura 6. Componentes de los flujos de carbono.

La productividad primaria neta de los bosques amazónicos del Perú es $6.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Este valor incluye hojas, ramas, fustes y raíces.

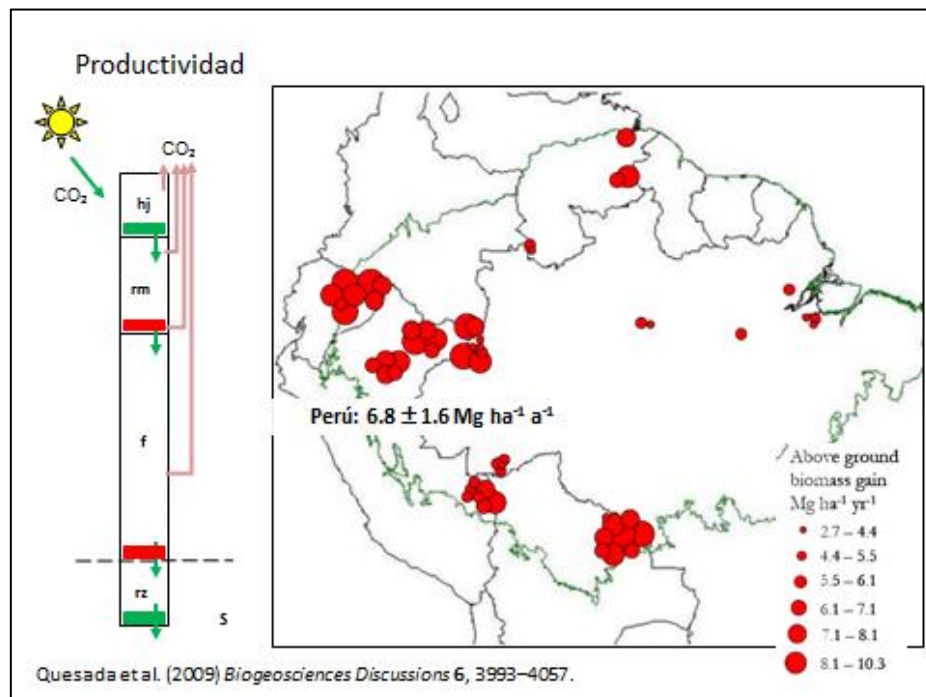


Figura 7. Productividad primaria neta de los bosques de la cuenca amazónica.

La biomasa viva sobre el suelo y debajo del suelo en bosques de tierra firme de en Brazil tiene una proporción de 1:1. Esto incluye los componentes hojas, ramas, tallos, raíces, hojarasca, necromasa y suelo.

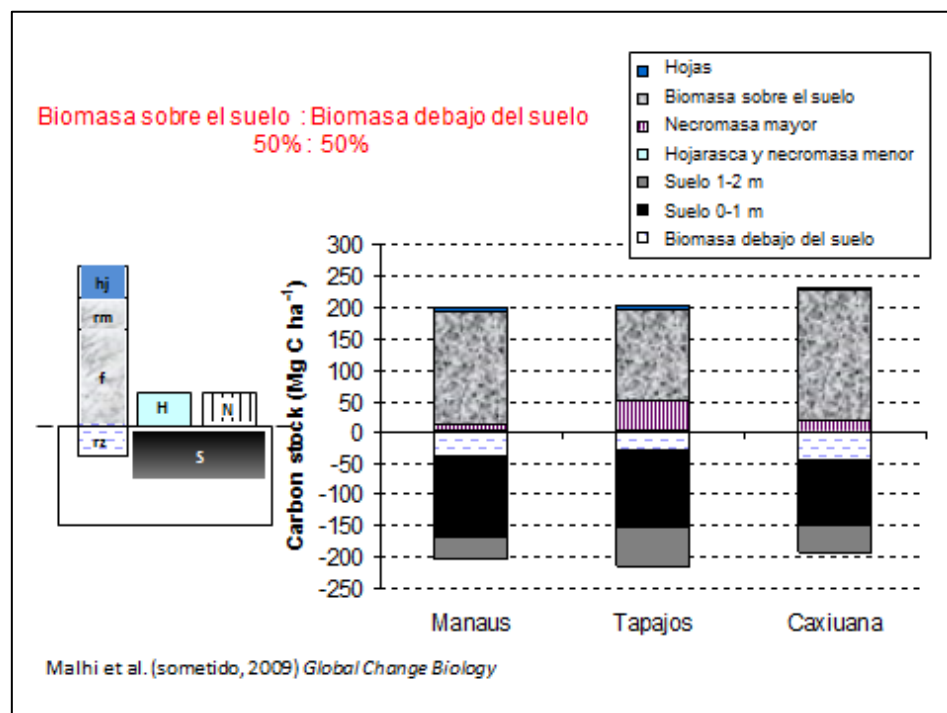


Figura 8. Proporción de la distribución de la biomasa en bosques de Brazil.

Resumen de protocolos de muestreo para estimación de reservorios y flujos de carbono

Existen muchas formas de medir cuanto de carbono hay en los bosques y ya hay varios manuales publicados para varios ecosistemas. El asunto está en escoger el protocolo adecuado que te permita comparar resultados con otros sitios de estudio. Para esto existen varios criterios que deben ser ajustados a los objetivos propios del trabajo de investigación.

Parcela de muestreo

Para la medición de carbono en bosques se usa parcelas de muestreo que representen una muestra del bosque a estudiar. Estas parcelas pueden ser temporales o permanentes, además su forma y tamaño depende del componente del ciclo de carbono a estudiar. Por ejemplo, si se busca estudiar el carbono presente en los brinzales, latizales y fustales se usan parcelas de conglomerado donde el componente mayor del ciclo cubre la superficie total de la parcela. Estos conglomerados pueden ser rectangulares para bosques de tierra firme o estar compuesto de subparcelas circulares en el caso de bosques de turbera.

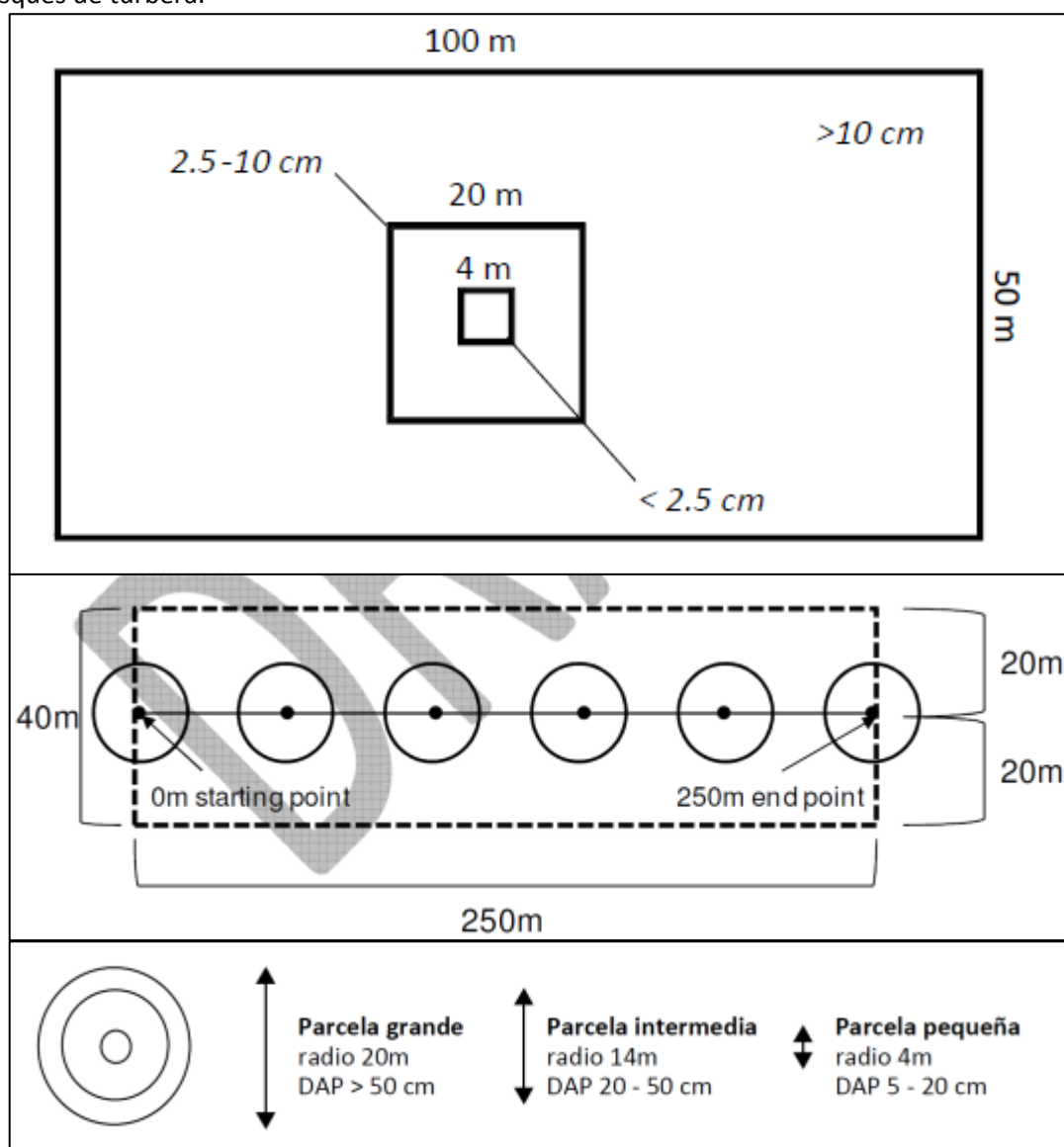


Figura 9. Formas y tamaños de parcelas para el monitoreo del reservorio de carbono en árboles.

Número de parcelas

Otro criterio a tomar en cuenta es el número de parcelas y para esto se utiliza la ecuación del número de muestras que involucra el error de muestreo esperado, el coeficiente de variación y el nivel de significancia.

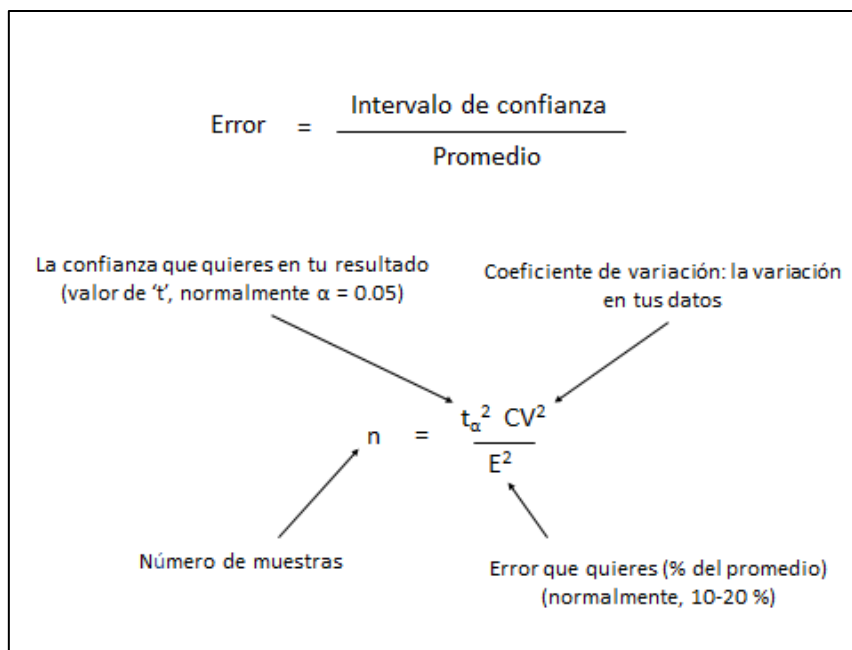


Figura 10. Número de parcelas necesarias para el muestreo.

Metodologías para el muestreo de reservorios de carbono

Muestreo destructivo

El muestreo destructivo consiste en la obtención de la biomasa total de un individuo arbóreo a partir del tumbado, secado y pesado de cada uno de sus estructuras. De esta manera se puede obtener la biomas directamente, ya que la biomasa es igual al peso seco y aproximadamente la mitad del peso seco es carbono.



Figura 11. Proceso de obtención del peso seco de un árbol de aguaje.

Asimismo, se mide las variables dasométricas (diámetro, altura total, etc.) de los individuos con la finalidad de generar modelos estadísticos (ecuaciones alométricas) que permitan estimar la biomasa de individuos con las mismas características vegetativas a partir de variables dasométricas fáciles de medir.



Figura 12. Ecuación alométrica para calcular biomasa de individuos de aguaje de *Mauritia flexuosa* a partir de altura.

Muestreo no destructivo

El muestreo no destructivo consiste en la estimación de biomasa a partir de las ecuaciones alométricas generada en el muestreo destructivo, es decir, midiendo variables básicas que nos permitan cuantificar la biomasa.



Figura 13. Variables medidas para calcular la biomasa arbórea.

Las ecuaciones alométricas varían dependiendo de muchos factores como el tipo de bosque, el tipo de árbol, etc. Por ejemplo la ecuación usada para árboles presentes en bosques tropicales de tierra firme es la propuesta de Chave *et al.* (2005) y para palmeras de aguajes es la propuesta de Freitas *et al.* (2006).

Ecuaciones más comunes

1. Para un bosque húmedo tropical, como los de Loreto:

$$(AGB)_{est} = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) = 0.0509 \times \rho D^2 H$$

Chave *et al.* (2005)

2. Para aguaje:

$$Y = -6E - 05 * H^3 + 0,0046 * H^2 - 0,043 * H + 0,1259$$

Freitas *et al.* (2006)

Sólo uso datos de altura!

Figura 14. Ecuaciones alométricas para bosques tropicales y aguajales.

Percepción remota

La percepción remota también es una herramienta utilizada para estimar la biomasa aérea de una superficie determinada de bosque.



Una de las técnicas de recepción remota utilizadas recientemente es el uso de imágenes LIDAR, que fue creada para ser usada en grandes construcciones y luego se modificó para ser usado en bosques. Hay dos versiones del LIDAR, el aéreo y el terrestre. El LIDAR terrestre permite calcular directamente el volumen de los árboles y a partir de su densidad básica se puede calcular la biomasa.

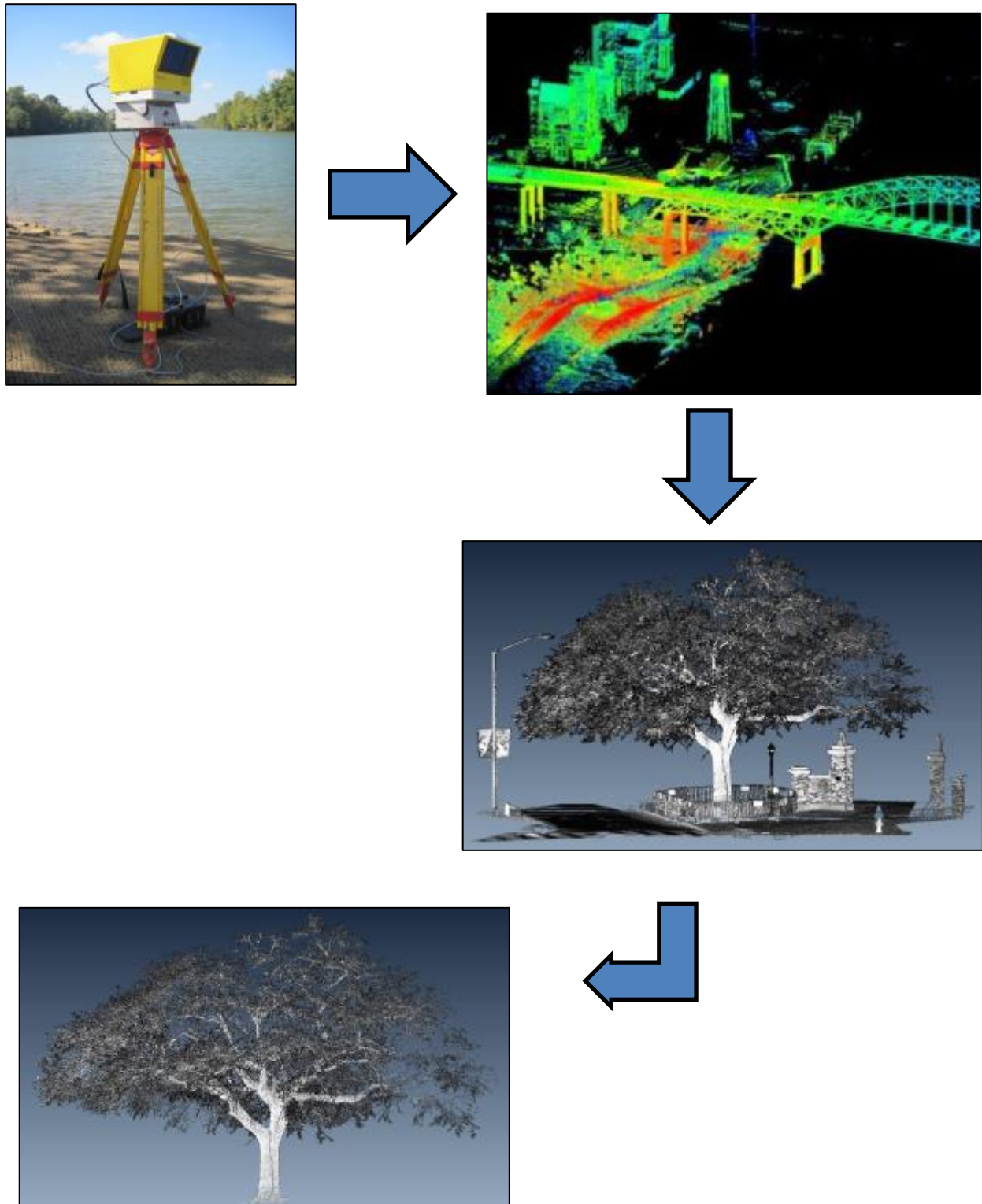


Figura 15. Esquema de trabajo del LIDAR terrestre.

Metodologías para el muestreo de los flujos de carbono

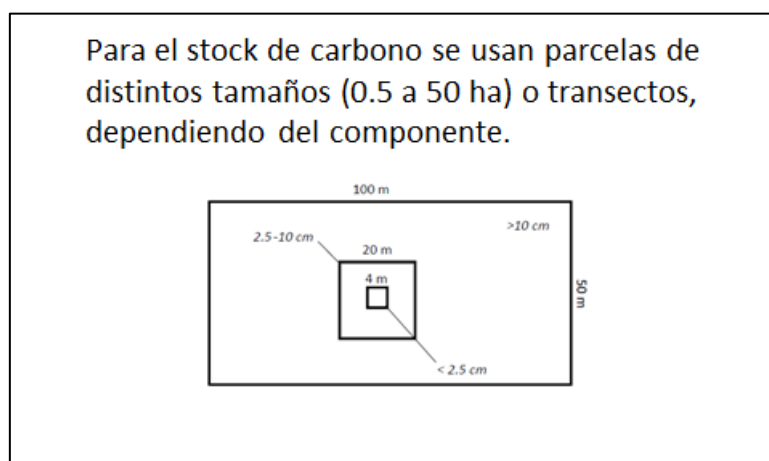
Parcela permanente de muestreo (PPM)

La parcela permanente de muestreo es la muestra básica para el estudio de los flujos de carbono. Esta tiene las mismas características que la parcela usada para el reservorio, sin embargo debe cubrir una superficie mayor que permita cubrir todo los fenómenos naturales de un tipo de bosque y así evitar el sesgo estadístico.



Protocolos de campo para el muestreo del reservorio de carbono

La unidad muestral del protocolo de campo para los reservorios de carbono es la parcela o transectos lineales, cuya superficie puede variar de 0.5 a 50 ha.



Hojas del dosel

Para calcular el reservorio de carbono en el dosel se usa el producto del índice masa área de hojas (LMA) y el índice de área foliar (LAI). EL primero se obtiene del área foliar específica (SLA) y masa de hojas, mientras que el segundo se estima a partir de fotos hemisféricas.



Figura 16. Uso de cuadrantes para hojarasca y toma de fotos hemisféricas

Fustes y ramas

Para calcular la biomasa de fustes y ramas se usa las ecuaciones alométricas mencionadas previamente. Estas se basan en el diámetro o la altura del fuste o tallo.



Figura 17. Toma de datos dasométricos del tallo.

Raíces fines

Para estimar la biomasa de raíces finas se utiliza el método de cavado o “cores”. Este método consiste en extraer una porción conocida del suelo (12 cm de diámetro y 30 cm de profundidad), a partir de ahí se extrae manualmente las raíces en cuatro intervalos de 10 minutos. Luego esto se seca y pesa para obtener la biomasa. De esta manera se puede estimar la cantidad de raíces en cada “core” y esta se puede proyectar a una hectárea de bosque.



Figura 18. Muestreo de raíces finas.

Madera muerta

Para estimar la necromasa de la madera muerta se utilizan transectos lineales donde se colectan todos los pedazos de madera muerta clasificándolos según clase diamétrica y grado de descomposición. Se obtiene el peso fresco en campo, luego se seca y pesa para obtener la necromasa.



Figura 19. Pesado de muestra de necromasa.

Hojarasca y detrito fino

Para calcular la necromasa de la hojarasca se utiliza cuadrantes de dimensiones conocidas (50 cm x 50 cm). Todo el material se colecta, se separa en componentes, se seca y se pesa para obtener la necromasa de este componente del ciclo del carbono.



Figura 20. Colecta de hojarasca

Suelo

Para calcular el reservorio de carbono en el suelo se utilizan tres variables: porcentaje de carbono orgánico, profundidad del perfil del suelo y densidad aparente del suelo. Los métodos usados para obtener estas variables cambian dependiendo del tipo de ecosistema (tierra firme o humedal). Por ejemplo en suelos de humedales se usa un barreno especial que te permite extraer muestras de suelo a una profundidad conocida, de las muestras se calcula la densidad aparente y el contenido de carbono orgánica (usando el método de Walkley & Black u otros). Los valores de carbono obtenidos de cada profundidad se suman para estimar el reservorio de carbono total de ese tipo de bosque.



Figura 21. Colecta de muestras de suelo en un humedal.

Protocolos de campo para el muestreo de los flujos de carbono

Productividad de hojas

En un bosque en equilibrio, durante un período de un año, la cantidad de hojas caídas (hojarasca) es proporcional a la cantidad de hojas producidas por el dosel. Por eso se instalan trampas de hojarasca, de dimensiones conocidas, a un metro de suelo. Todo el material que cae en las trampas es colectado cada 15 días, separado en componentes, secado y pesado.



Figura 22. Instalación de colectores de hojarasca.

Respiración de suelo

La respiración o emisión de dióxido de carbono del suelo es un flujo de carbono usado para evaluar las salidas de carbono de los ecosistemas mediante procesos naturales. Para cuantificar esta emisión se utiliza el método de cámara cerrada y un analizador infrarrojo de gases que proporciona valores de emisión en $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$. Luego esto puede ser extrapolado a una hectárea de bosque.



Figura 23. Medición de respiración de suelos.

Productividad de raíces finas

La productividad de raíces finas es estimada usando el mismo principio que los “cores” (usados para los reservorios), con la única diferencia que se deja una malla como marca permanente para realizar los muestreos cada tres meses.



Figura 24. Muestreo de raíces finas.

Productividad de fustes

Para el monitoreo de la productividad de fustes se debe medir la variación en diámetro, ya que esta variable está incluida en las ecuaciones alométricas para calcular biomasa. Con esta finalidad se utilizan dendrómetros fijados al árbol que permitan medir el cambio en diámetro (mm) en períodos de tres meses.



Figura 25. Dendrómetros instalados en árboles para evaluar los cambios en diámetro.

Fotosíntesis

La tasa fotosintética de las hojas de un árbol determina su capacidad para convertir carbono inorgánico en orgánico. Sin embargo su medición es complicada, ya que requiere de dispositivos costosos y de última tecnología. Un ejemplo es el sistema LI-COR que permite evaluar los patrones de respuesta de la tasa fotosintética de una especie ante determinadas condiciones (temperatura, humedad, concentración de carbono, etc.)

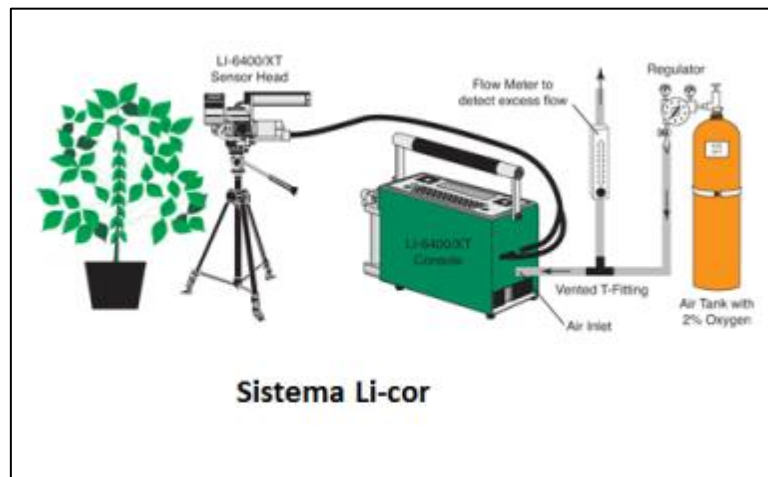


Figura 26. Sistema LI-COR para medir fotosíntesis.

INFORME DE GRUPOS DE TRABAJO

RESERVORIO DE CARBONO EN ÁRBOLES DE MÁS DE 10 CM DE DIÁMETRO

Jhon Arthur Arevalo Trujillo¹ y Luis Alberto Torres Sinarahua¹

¹ Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

Los materiales usados para la colecta de datos fueron:

- 2 Winchas de 50 cm
- 1 clinómetro
- 1 GPS
- Formatos de campo
- 1 Lápiz
- 1 Cinta diamétrica

Se estableció una parcela de muestreo de 20 m x 20 m, es decir con un área de 400m². Allí se midió el DPOM (diámetro en el punto óptimo de medición), altura, nombre científico, nombre vulgar, distancias “X” e “Y”.

Para el trabajo de gabinete se usó el protocolo establecido por la RED AMAZÓNICA DE INVENTARIOS FORESTALES (RAINFOR).

El protocolo de RAINFOR establece el uso de ecuaciones alométricas estandarizadas usando como variables la altura y el diámetro obtenido en campo, la densidad de la especies. A partir de esto se usó la conversión de biomasa a carbono y de kilogramos a toneladas.

Se determinó que el total de carbono almacenado en los árboles de la parcela es 11.37 toneladas. Asimismo, el total de carbono de los árboles extrapolado a una hectárea fue 284.16 t ha⁻¹.

Cuadro 1. Resultados obtenidos en la parcela de muestreo

Familia	Género	Especie	Densidad	DPOM (cm)	Altura (m)	Biomasa (t)	Carbono (t)
Euphorbiaceae	Conceveiba	Indet	0.52	22.9	21.4	0.30	0.15
Euphorbiaceae	Conceveiba	Indet	0.52	32.5	26.1	0.73	0.37
Euphorbiaceae	Conceveiba	Indet	0.56	21.6	20.7	0.27	0.14
Fabaceae	Inga	<i>Inga sp. 1</i>	0.58	15.2	16.0	0.11	0.05
Fabaceae	Inga	<i>Inga sp. 2</i>	0.58	11	11.7	0.04	0.02
Moraceae	Ficus	<i>Ficus insipida</i>	0.38	61	34.5	2.49	1.25
Euphorbiaceae	Conceveiba	Indet	0.52	29.7	24.9	0.58	0.29
Malvaceae	Indet	Indet	0.44	22	20.9	0.23	0.11
Fabaceae	Indet	Indet	0.70	26.8	23.5	0.60	0.30
Moraceae	Ficus	<i>Ficus insipida</i>	0.38	110	42.3	9.95	4.98
Malvaceae	Indet	Indet	0.44	12.1	13.0	0.04	0.02
Malvaceae	Indet	Indet	0.44	30.5	25.3	0.53	0.26
Malvaceae	Indet	Indet	0.44	35	27.1	0.75	0.37
Fabaceae	Indet	Indet	0.70	21.2	20.4	0.33	0.16
Miristicaceae	Otoba	<i>Otoba parvifolia</i>	0.43	27.2	23.7	0.38	0.19

Fabaceae	Parkia	<i>spp</i>	0.70	27.6	23.9	0.65	0.32
Fabaceae	Inga	<i>spp</i>	0.58	27.4	23.8	0.53	0.26
Arecaceae	Astrocaryum	<i>Astrocaryum chambira</i>	0.46	41.5	29.4	1.19	0.60
loganiaceae	Strychnos		0.54	15.2	16.0	0.10	0.05
Indet	Indet	Indet	0.64	14	14.9	0.10	0.05
Fabaceae	Indet	Indet	0.70	21.7	20.7	0.35	0.17
Araliaceae	Dendropanax	<i>Dendropanax unbellatus</i>	0.42	47.7	31.2	1.53	0.77
Malvaceae	Ochroma	Indet	0.135	28.9	24.5	0.14	0.07
Arecaceae	Bactris	<i>Bactris gasipaes</i>	0.46	10.5	11.1	0.029	0.014
Indet	Indet	Indet	0.64	14.2	15.1	0.01	0.05
Arecaceae	Astrocaryum	<i>Astrocaryum chambira</i>	0.46	33.2	26.4	0.69	0.34

RESERVORIO DE CARBONO EN RAÍCES FINAS

Jorge Espríritu Pezantes¹, Erick Joe Dossantos Macedo¹, Claudia del Águila Martínez¹, Patricia Cristina Márquez León¹, Patricia Giovanna Gonzales Grandez¹, Aleardo Bartens Ferrando¹, Víctor Juan Ulises Rodríguez Chuma².

1 Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

2 DAR

Los materiales usados para la colecta de datos fueron:

- 1 Cavadador
- 1 Plástico de 1 m x 1 m
- Bolsas plásticas
- 1 Marcador indeleble

Se cavó un hueco de 30 cm de profundidad y 12 cm de diámetro (el mismo que el cavador). Todo el suelo del hueco fue puesto en el plástico de 1 m x 1 m. Una vez allí una persona extrajo manualmente todas las raíces encontradas durante cuatro períodos de 10 minutos en esa porción de suelo. Las raíces se colocaron en bolsas debidamente rotuladas.

En gabinete, se procesó los datos usando el protocolo RAINFOR, es decir se asumió que siguiendo el mismo procedimiento durante 12 períodos de 10 minutos se colectaría cerca del total (98%) de las raíces encontradas en cada hueco. Por lo tanto con datos (peso seco de raíces finas) de solo 40 minutos en cada punto, se puede estimar la cantidad de raíces finas acumuladas que habría en 120 minutos. Para eso se usó una ecuación de regresión como muestra la **Figura 27**.

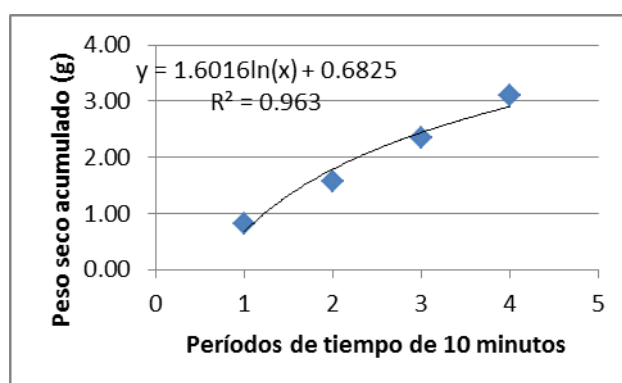


Figura 27. Regresión entre período de tiempo de muestreo y peso acumulado de raíces finas.

Después de estimar el peso total de raíces finas por cada punto, se procedió a convertir esta unidad a toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) y luego a su equivalente a carbono ($t\ C\ ha^{-1}$), asimismo se corrigió este valor para considerar todas las raíces del perfil del suelo. Para calcular el área se usó el diámetro del cavador. Luego se promedió los valores obtenidos en cada uno de los puntos y así se expresó el valor final del reservorio de carbono en raíces finas.

Cuadro 2. Resultados obtenidos de raíces finas en tres puntos de muestreo.

Parcela	Fecha	Punto de muestreo	Masa final (g)	Biomasa ($g\ cm^{-2}$)	Biomasa ($t\ ha^{-1}$)	Carbono ($t\ C\ ha^{-1}$)	Carbono corregido ($t\ C\ ha^{-1}$)
JB-01	21/12/2013	1	4.66	0.04	4.12	2.06	2.87
JB-01	21/12/2013	2	5.36	0.05	4.74	2.37	3.30
JB-01	21/12/2013	3	4.80	0.04	4.25	2.12	2.95
Promedio							3.04
Desviación estándar							0.23
Error estándar							0.13

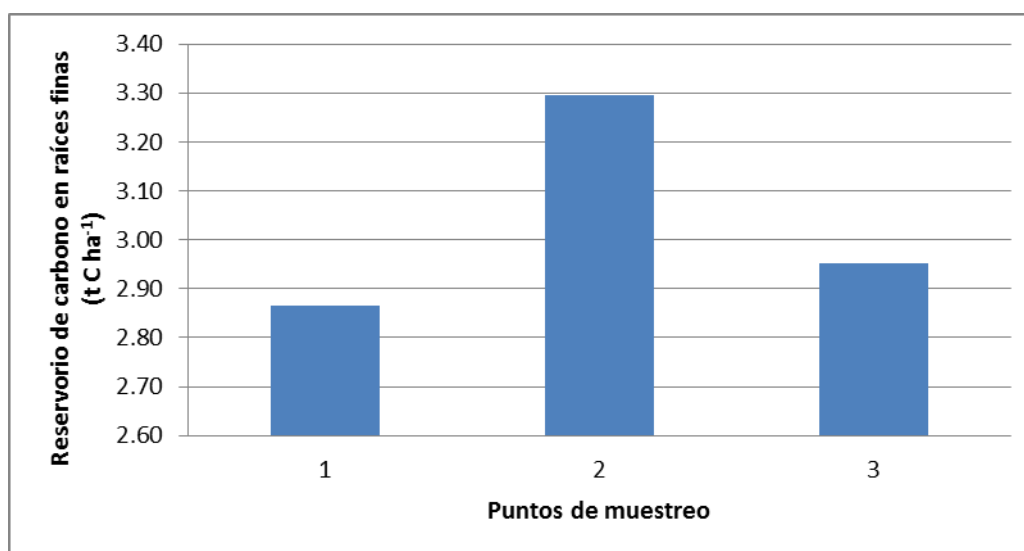


Figura 28. Variación del reservorio de carbono de raíces finas en los puntos de muestreo.

ANEXOS



Foto: J. del Aguila © IIAP, prepración del dispositivo para la medición de la respiración de suelo.



Foto: J. del Aguila © IIAP, participante del taller midiendo la respiración del suelo.



Foto: J. del Aguila © IIAP, cavado del suelo para la extracción de raíces.



Foto: J. del Aguila © IIAP, extracción de raíces en el punto de muestreo.



Foto: J. del Aguila © IIAP, participante del taller midiendo el diámetro de un árbol.



Foto: J. del Aguila © IIAP, participantes de taller en la clausura.