



# Taller de análisis estadístico para apoyar el diseño de los inventarios de carbono



Iquitos, Perú

15 al 17 de mayo de 2009

Eurídice Honorio & Tim Baker

## Agradecimientos

Como organizadores del curso deseamos agradecer a nuestras instituciones, el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y la Universidad de Leeds, quienes hicieron posible la realización del “Taller de análisis estadístico para apoyar el diseño de los inventarios de carbono”. Este taller no hubiera sido posible sin las personas que brindaron su apoyo y colaboración como Dennis del Castillo Torres, director del programa PROBOSQUES-IIAP, Pedro Icomedes, Ingryt Guillén y Olivia Rendón por su colaboración en la logística del curso.

El taller se realizó en el auditorio del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana en la ciudad de Iquitos del 15 al 17 de mayo de 2009 como parte del Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUE) del IIAP y del Proyecto de ‘Fortalecimiento de capacidades para Pagos por Servicios ambientales (carbono y biodiversidad) en la Amazonia Peruana’ de la Universidad de Leeds.

Agradecemos también al IIAP, RAINFOR, CEDISA y WWF por contribuir con información de inventarios de carbono que permitieron realizar los análisis y prácticas durante el taller. Finalmente, deseamos también agradecer a los participantes por su increíble interés de compartir sus experiencias y por su motivación para realizar un aprendizaje mutuo y a quienes les deseamos los mejores éxitos en sus proyectos.

Eurídice y Tim

# Tabla de contenido

Introducción.....	3
Lista de participantes.....	4
Ponentes.....	5
Cronograma del taller.....	6
Contenido del taller .....	8
Tema 1: Introducción.....	8
Tema 2: Ciclo del carbono .....	9
Tema 3: Muestreo.....	10
Tema 4: Cálculos .....	11
Tema 5: Implicaciones, recomendaciones y preguntas de investigación.....	11

# Introducción

En la actualidad existe gran interés en el desarrollo de proyectos de pago por servicios ambientales de carbono en los bosques tropicales. Una adecuada cuantificación del carbono almacenado en estos bosques es un requisito clave para desarrollar la línea base de estos proyectos. La cuantificación del stock de carbono debe ser suficientemente precisa y eficiente para minimizar los costos y tiempos de evaluación. Los estudios sobre el stock de carbono en diferentes formaciones vegetales de la Amazonia Peruana son aún limitados pero con un análisis estadístico adecuado de los datos existentes podemos ayudar a desarrollar una estrategia de monitoreo futuro del carbono en los bosques. Por lo tanto, a través del Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUE) del IAP y del Proyecto de 'Fortalecimiento de capacidades para Pagos por Servicios ambientales (carbono y biodiversidad) en la Amazonia Peruana' de la Universidad de Leeds se propuso realizar el "Taller de análisis estadístico para apoyar el diseño de los inventarios de carbono" con la participación de investigadores nacionales e internacionales para intercambiar experiencias y conocimientos en el tema.

Durante los tres días de trabajo en el presente taller pusimos énfasis en la enseñanza de conceptos básicos relacionados al ciclo del carbono, las metodologías y los cálculos de estimación del stock y flujos de carbono, y las recomendaciones para futuros inventarios de carbono y estudios de investigación a nivel nacional. Asimismo, en la fase práctica pusimos énfasis en determinar la distribución de los datos y su variación con el fin de calcular el tamaño y número de parcelas necesarios en los inventarios, hacer uso de ecuaciones alométricas, y estimar el stock y los flujos de carbono utilizando datos de inventarios de carbono realizados en Loreto (IAP), Madre de Dios (RAINFOR) y San Martín (CEDISA-WWF).

## Lista de participantes

<b>N</b>	<b>Nombre</b>	<b>Lugar</b>	<b>Institución</b>	<b>Programa</b>	<b>E-mail</b>
1	Luis Arévalo López	Tarapoto	IIAP	PROBOSQUE	larevalol@yahoo.es
2	Ángel Collantes Freitas	Iquitos	GOREL	Recursos Naturales	aacollantes@hotmail.com
3	Luis Freitas Alvarado	Iquitos	IIAP	PROBOSQUE	lfreitas@iiap.org.pe
4	Efraín Leguía Hidalgo	Pucallpa	IIAP	PROBOSQUE	eleguia@gmail.com
5	Cristina López Wong	Iquitos	PROCREL	Áreas Naturales Protegidas	cris_lw@yahoo.es
6	Erasmo Otarola Acevedo	Lima	WWF	Carbono Forestal	erasmo.otarola@wwfperu.org.pe
7	Hiver Paulino Cuba	San Martín	CEDISA	Manejo de bosques	hiverpaulinocuba@yahoo.es
8	Fredy Ramírez Arévalo	Iquitos	UNAP	Fac. Ciencias Forestales	chicoram@gmail.com
9	Juan Carlos Riveros Salcedo	Lima	WWF	Ciencias p. la Conservación	JC.Riveros@wwfperu.org.pe
10	Fernando Rodríguez Bedayán	Iquitos	IIAP	BIOCAN	feroben@gmail.com
11	Teresa Rojas Bicerra	Iquitos	GOREL	Recursos Naturales	pilar_rojasb@hotmail.com
12	Jazmín Ruiz Pezo	Iquitos	SERNANP	Pacaya-Samiria	jas_dio_rp@hotmail.com
13	Patricia Saldaña Shapiama	Iquitos	UNAP	Fac. Ciencias Forestales	pattyfif@hotmail.com
14	José Sanjurjo Vílchez	Iquitos	IIAP	BIOINFO	jsanjurjo@iiap.org.pe
15	Laura Secada Daly	Lima	WWF	Ciencias p. la Conservación	Laura.Secada@wwfperu.org.pe
16	Andrea Tello Meza	Iquitos	GOREL	Recursos Naturales	
17	Jim Vega Arenas	Iquitos	IIAP	BIOINFO	jvegares@gmail.com
18	Federico Yepes Alza	Iquitos	IIAP	PROBOSQUE	fyepes@iiap.org.pe

## Ponentes



Timothy Baker, Ph.D.  
University of Leeds  
t.r.baker@leeds.ac.uk

Después de completar mi M.A. en Ciencias de las plantas en la Universidad de Cambridge, Reino Unido y mi Ph.D. en Dinámica de los bosques de Ghana, África del oeste, vine a la Amazonía peruana por primera vez en el 2001. Trabajé con el proyecto RAINFOR (Red Inventario de Parcelas Forestales) estudiando la dinámica y el ciclo del carbono de los bosques Amazónicos usando parcelas permanentes.

Mis interés de investigación está enfocado en la evolución de las características funcionales de las plantas tropicales y como eso influencia al funcionamiento de los bosques tropicales, la dinámica y la estructura del bosque hoy en día, su sensibilidad al cambio climático, y la aplicación de estos datos en el diseño y ejecución de proyectos de pagos por servicios ambientales.

Ingeniera Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina y M.Sc. en Biodiversidad y Taxonomía de plantas de la Universidad de Edimburgo-Reino Unido. Directora del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera y encargada de la meta “Estudio de cuantificación del stock de carbono en bosques aluviales” del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Con siete años de experiencia profesional en la investigación, mi trabajo está enfocado en la botánica tropical, la ecología de especies no maderables y recientemente a los métodos para estimar biomasa y carbono en bosques amazónicos en el departamento de Loreto, Perú.



Eurídice Honorio Coronado, M.Sc.  
Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana  
eurihc@yahoo.com

# Cronograma del taller

## DIA 1 – Viernes 15 de Mayo

- 9.30 am Inauguración del evento (Dennis del Castillo Torres, Ph.D.)
- 9.45 am Tema 1: Introducción
- Charla: Introducción al cambio climático y a la importancia de los bosques tropicales (TB)
- 10.45 am Tema 2: Ciclo del carbono
- Práctica: ¿Qué componentes y procesos medirías en este paisaje para entender el ciclo del carbono? (EH)
- Charla: El ciclo del carbono en los bosques tropicales (EH)
- 12.30 m RECESO
- 2 pm Tema 3: Muestreo
- Charla: Resumen de metodologías de muestreo de estimación del stock y flujo del carbono (TB)
- Práctica guiada: Determinación del tamaño y número de parcelas a muestrear de biomasa viva mayor (TB)

## DIA 2 – Sábado 16 de Mayo

- 9.30 am Práctica: Determinación del tamaño y número de parcelas a muestrear de necromasa menor, necromasa mayor, biomasa viva menor (EH)
- Charla: Resumen de estrategias de inventario (RAINFOR, Winrock, Alder, WWF, IIAP) (TB)
- 12.30 m RECESO
- 2 pm Tema 4: Cálculos
- Charla: Generación y uso de las ecuaciones alométricas (TB)
- Práctica guiada: Uso de las ecuaciones alométricas y el efecto de las variables en la estimación de la biomasa (EH)

### DIA 3 – Domingo 17 de Mayo

- 9.30 am Práctica guiada: Ciclo del carbono en el bosque natural - stock y flujos (EH)
- 11.30 am Tema 5: Implicaciones, recomendaciones y preguntas de investigación
- Charla: REDD y las implicaciones del cambio climático (TB)
- 12.30 pm Charla: Recomendaciones para los inventarios del ciclo del carbono y preguntas de investigación (TB)

# Contenido del taller

## Tema 1: Introducción

### Introducción al cambio climático y a la importancia de los bosques tropicales

Los bosques tropicales juegan un rol importante en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, y como resultado de eso, en la tasa de cambio climático, debido a dos razones: 1) la deforestación de los bosques causa grandes emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, y en contraparte 2) la recuperación de bosques en zonas degradadas y la productividad de los bosques intactos funcionan como un sumidero de carbono que ayuda a reducir la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. El flujo de carbono debido a la deforestación tropical es casi 20% de las emisiones totales generadas por las acciones humanas. Resultados de parcelas permanentes, incluyendo nuevos resultados de una red de parcelas en África, muestran que los bosques tropicales intactos han funcionado como un sumidero de carbono en las últimas décadas, presentando cambios en la biomasa positivos de una magnitud igual a  $+0.6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Mientras parece que los bosques intactos han ayudado a reducir la tasa de cambio climático en los últimos años, la mayoría de modelos del clima están prediciendo una reducción en la cantidad de lluvia en la Amazonía a causa del cambio climático, particularmente en el este de Brasil. Este cambio podría reducir el potencial de los bosques Amazónicos para funcionar como un sumidero de carbono. Por ejemplo, la sequía del 2005, aumentó la tasa de mortalidad de los árboles en los bosques Amazónicos, reduciendo el stock de biomasa viva. Un aumento en la frecuencia de sequías, podría reducir la cantidad de carbono almacenado en los bosques Amazónicos. En realidad el efecto de los cambios climáticos debido a los bosques Amazónicos, ocurriría en conjunto con otros impactos directos humanos, como la deforestación. En el sureste de la Amazonía, por ejemplo, las predicciones de deforestación y de la probabilidad de una disminución en la lluvia son ambas altas. Por lo tanto, la interacción de estos efectos determinaría el futuro de los bosques Amazónicos.

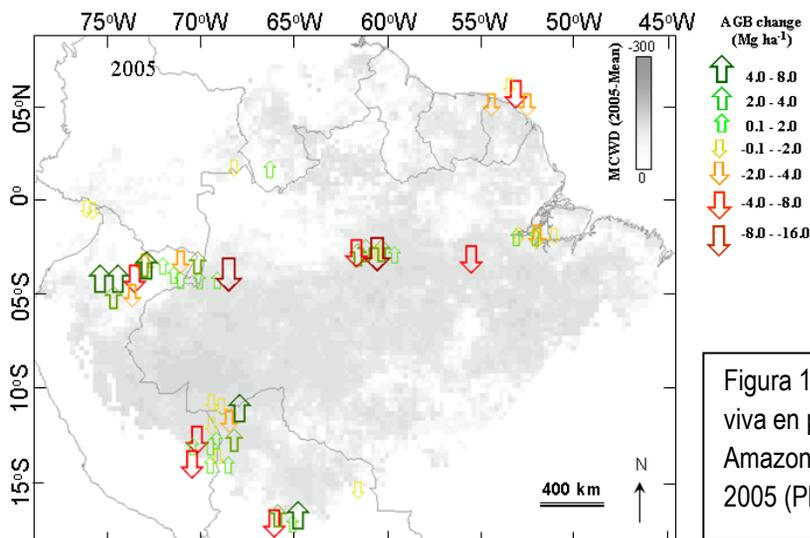
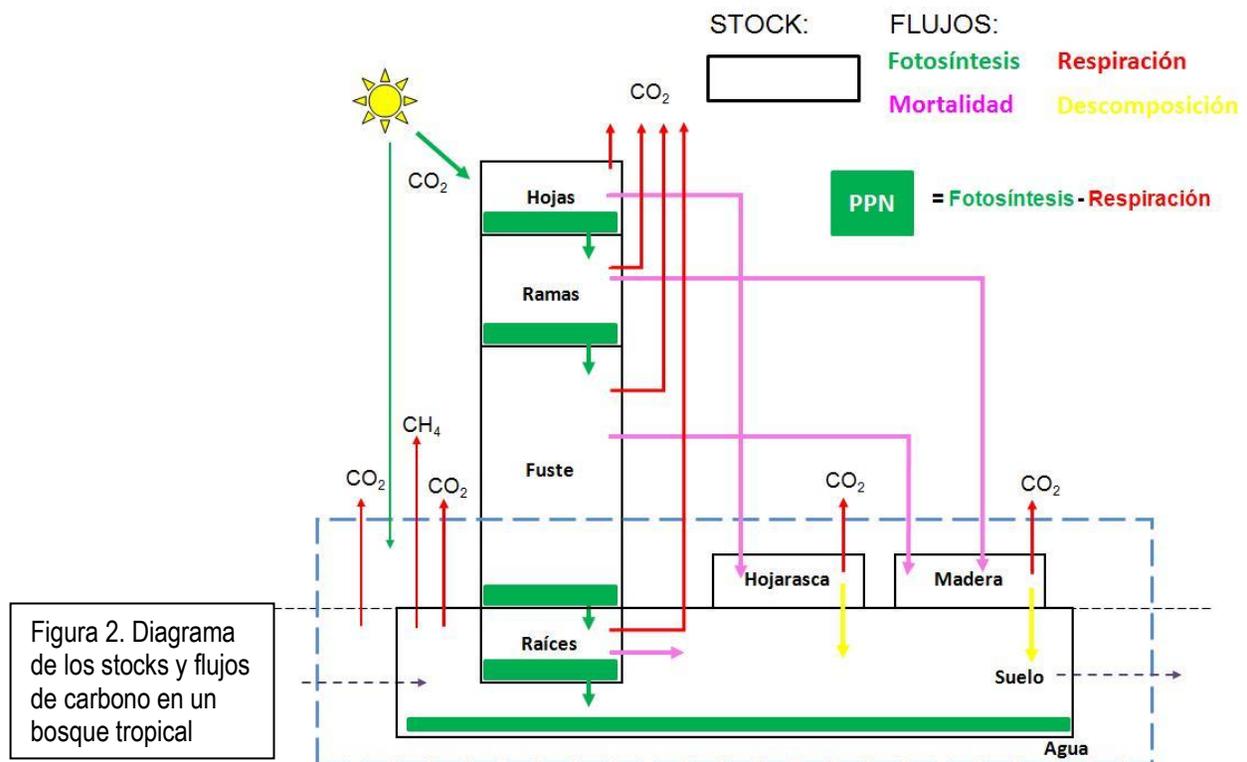


Figura 1. Cambios en la biomasa viva en parcelas permanentes de la Amazonía, durante la sequía del 2005 (Phillips et al. 2009).

## Tema 2: Ciclo del carbono

### El ciclo del carbono en los bosques tropicales

Cuando deseamos estudiar el ciclo del carbono debemos tener en claro la diferencia entre stock y flujo del carbono, donde el stock es todo aquello que se encuentra almacenado en los componentes del bosque y los flujos son todos aquellos procesos que afectan el stock. Por ejemplo, cuando cuantificamos el stock de un bosque, muestreamos: a) la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; b) la necromasa almacenada en la hojarasca y la madera muerta; y c) el carbono en el suelo de la materia orgánica. Cuando cuantificamos los flujos del bosque consideramos la variable tiempo y muestreamos: a) la productividad que es un resultado de restarle a la fotosíntesis, la respiración, expresada en el crecimiento del fuste, producción de ramas, producción de hojas, y producción de raíces; b) la mortalidad que es la muerte y caída de troncos y ramas, la caída de hojas y la muerte de raíces; y c) la descomposición de la madera y de la hojarasca causada por los organismos degradadores. Siempre debemos tener en cuenta que la biomasa se expresa en  $\text{Mg ha}^{-1}$  y el flujo en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y que el 50% de la biomasa seca es carbono.



El stock de biomasa en la Amazonía está influenciado por la densidad de madera de las especies y por la abundancia del tipo de plantas que crecen en las diferentes regiones. Se estima que los bosques tropicales presentan un stock casi siempre distribuido equitativamente sobre y debajo del suelo. Por otro lado, la productividad en la Amazonia está influenciada por la fertilidad del suelo, especialmente por la cantidad de fósforo disponible en el suelo.

## Tema 3: Muestreo

### Resumen de metodologías de muestreo de estimación del stock y flujo del carbono

#### 1. Stock

##### Árboles

- Parcelas estratificadas por clase diamétrica, p.e.  $\geq 10$  cm en parcelas de 0.1-1 ha y  $< 10$  cm en parcelas de 0.01-0.04 ha.
- Ubicadas *aleatoriamente* en el bosque para que sean representativas.
- *Área corregida por la pendiente.*
- Forma circular funciona bien para parcelas pequeñas (hasta diámetro 20 m = 0.13 ha) y forma rectangular es mejor para parcelas permanentes de 0.5-1 ha.
- $\geq 6$ cm de diámetro, mediciones *con cinta diamétrica*;  $< 6$ cm con vernier.
- *La calidad de las mediciones es de alta importancia.*
- Árboles con aletas: usar una escalera para medir *arriba* de las aletas.
- Usa un protocolo estándar para medir los casos raros.

##### Necromasa

- El tamaño de los árboles muertos en pie debe ser incluido en el inventario.
- El uso de transectos lineales es una forma fácil de medir la madera muerta en el suelo.
- Cada pieza de madera muerta esta clasificada por su estado de descomposición (1-3). Colectas muestras para calibrar esta escala y se necesita corregir el porcentaje de espacio dentro de la madera.

##### Hojarasca y carbono en el suelo

- Muestras de hojarasca deben ser recolectadas de la superficie (p.e. usando cuadrante de 30x30 cm)
- Muestras del suelo pueden ser tomadas a diferentes profundidades (0-30 cm es lo más importante) para el análisis del carbono y muestras de la densidad para calcular el stock de carbono en el suelo.

#### 2. Flujos

##### Respiración

- La tasa de respiración de los diferentes componentes se puede medir tomando una muestra de aire por un tiempo definido, y analizando la concentración de CO<sub>2</sub> en la muestra.

##### Crecimiento

- Fustes: el crecimiento a largo plazo ( $> 1$  año) se realiza con remediciones de parcelas permanentes y a corto plazo ( $< 1$  año) mediciones con bandas dendrométricas. *Nota: La calidad de las mediciones del diámetro es muy importante para asegurar la calidad de los datos de crecimiento.*
- Hojas: asumiendo que el bosque esta en equilibrio, podemos medir la producción de hojas, mediante la captura de las hojas que caen.

##### Mortalidad

- Árboles: Remedición de parcelas permanentes – cuántos árboles mueren por año?
- Ramas: Monitoreando transectos donde todos los pedazos de madera muerta han sido marcados – cuántos recién cayeron?

## **Resumen de estrategias de inventario (RAINFOR, Winrock, Alder, WWF, IAP)**

Un diseño con parcelas anidadas es una estrategia eficiente para cuantificar diferentes componentes de la biomasa total del bosque, sin embargo, para monitorear la dinámica del bosque, necesitamos un tamaño de parcela más grande. Con un diseño anidado, para calcular el número de parcelas total debemos enfocar en el número de parcelas necesarias para muestrear el componente más importante de la biomasa: los árboles grandes. Podemos aceptar un error más grande en los componentes menos importantes, porque contribuyen menos a la biomasa total. Por ejemplo, se determinó que para un bosque estacionalmente inundado de Jenaro Herrera en Loreto era necesario establecer 31 parcelas de 0.5 ha (50 x 100 m) para estimar la biomasa de los individuos con DAP  $\geq 10$  cm con una distribución normal de los datos y un error de muestreo del 10%, incluyendo dentro una parcela de 20 x 20 m para la medición de individuos de 2.5- 10 cm DAP y una parcela de 4 x 4 m para la medición de individuos con DAP < 2.5 cm.

### Tema 4: Cálculos

#### **Generación y uso de las ecuaciones alométricas**

Una ecuación alométrica usa variables estructurales que podemos medir fácilmente, como el diámetro y la altura de los árboles, para estimar la biomasa. El diámetro de los árboles es el factor más importante, sin embargo, para hacer comparaciones entre diferentes sitios es necesario considerar otras variables como la densidad de la madera (que podemos obtener usando bases de datos disponibles en el web) y la altura. Las alturas de una muestra de árboles de amplio rango de diámetros deben ser medidas en cada parcela. Mientras las ecuaciones publicados por Chave et al (2005) nos permiten estimar la biomasa en diferentes bosques en una forma comparable, aún sería importante muestrear el peso de los árboles de la Amazonía peruana para confirmar si las ecuaciones de Chave son validas para esta zona.

### Tema 5: Implicaciones, recomendaciones y preguntas de investigación

#### **REDD y las implicaciones del cambio climático**

El interés en los inventarios de carbono hoy en día, resulta del interés en la posibilidad de construir proyectos que reciban pagos por servicios ambientales basados en carbono. Las iniciativas de REDD son uno de ellos: un concepto para reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera debido a la deforestación tropical. El punto clave de los proyectos de REDD es que deben demostrar reducciones reales y medibles en las emisiones de dióxido de carbono que no habrían ocurrido sin el proyecto. Para lograr esto, estos proyectos, deben mostrar 'permanencia': es decir los stocks de carbono deben ser mantenidos por todo el periodo del proyecto, y no deben ser afectados por el manejo o las perturbaciones ambientales. Los proyectos también tienen que evitar fugas, o cualquier incremento de emisiones fuera del área del proyecto como resultado del proyecto. La validación con un estándar (como los de VCS o CCBA) es un componente importante de estos proyectos, y hay mucho interés en que estos proyectos también ofrezcan 'co-beneficios' en términos de biodiversidad y sociales. Aun hay mucha incertidumbre si REDD va a ser implementado a una gran escala, pero aun hay varias necesidades técnicas para asegurar que estemos preparados. Relevante a este taller, es la necesidad de tener un buen mapa de los stocks de carbono y una recomendación es que los proyectos REDD deben incluir el monitoreo de los stocks de

carbono usando parcelas permanentes para asegurar la permanencia de los stocks de carbono frente al cambio climático.

## Recomendaciones para los inventarios del ciclo del carbono y preguntas de investigación

Los inventarios de carbono deben siempre ser planificados con tiempo, pensando principalmente en la pregunta que deseamos contestar, por ejemplo ¿Qué queremos medir, el stock o los flujos de carbono del bosque? Basándonos en datos preliminares podemos definir el tamaño de parcela que nos muestre una distribución normal de los datos. Al definir un error de muestreo podemos calcular el número de parcelas que necesitamos muestrear y el diseño más adecuado basado en el componente de mayor tamaño (p.e. biomasa de árboles con DAP  $\geq 10$ cm). En campo, esperamos obtener datos de calidad por lo tanto, pensaremos en los instrumentos que nos den mayor precisión. Una vez tomados los datos en campo, deberemos realizar los análisis de los datos previa a una selección de mejores ecuaciones alométricas a usar dependiendo de nuestro bosque, etc., de esta manera calcularemos el stock de carbono del bosque. En caso estemos interesados en los flujos, deberemos incluir el tiempo, una variable que nos permite medir los incrementos en el stock de carbono del bosque (p.e. crecimiento de fustes, producción de hojas, mortalidad, etc.).

En el campo de la investigación sabemos que existen vacíos de información relacionados a la determinación de ecosistemas con características especiales (p.e. aguajales, pacaes) que requieren de estudios del flujo de carbono y también la prueba de las ecuaciones alométricas en diferentes bosques amazónicos. Estos puntos deberán ser cubiertos a mediano y largo plazo por los institutos de investigación y las universidades, sin embargo, sabemos que existen otros requerimientos que deberán ser incluidos al momento de elaborar proyectos de carbono. En este campo, todos tendremos la responsabilidad de compartir datos para determinar el tamaño y número de parcelas necesarias en los inventarios para obtener datos confiables, así como estudios del efecto del cambio climático, factor que podría afectar los proyectos en mayor o menor medida dependiendo de la intensidad de su efecto en los bosques. Finalmente, esperamos que las instituciones a nivel nacional logremos compartir los datos y podamos diseñar manuales de inventario de carbono que sean útiles a nivel nacional para la enseñanza práctica y el diseño de inventarios del stock y los flujos de carbono.

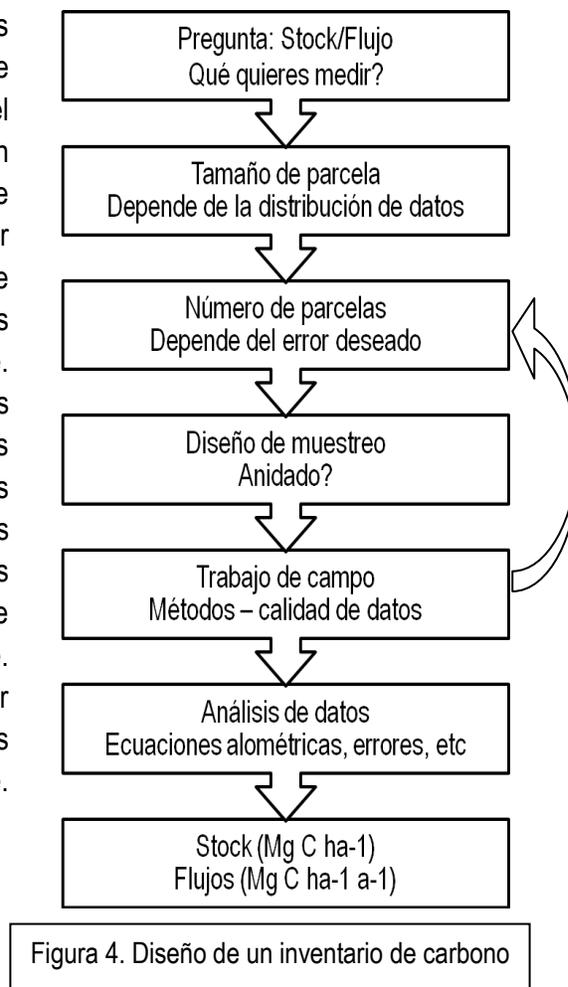


Figura 4. Diseño de un inventario de carbono