

# ANEXO DEL LIBRO DE RECETAS

Manual de Investigación Volumen 1

Método de Investigación para el Inventario basado en el terreno

TAMOTSU SATO Y KAZUKI MIYAMOTO





## **Prefacio**

El concepto básico de REDD-plus es proporcionar incentivos económicos, tales como financiación y créditos a los países en desarrollo para las actividades de REDD (reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por deforestación y degradación de los bosques) y para las actividades "plus" (reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera mediante el secuestro de carbono). Por lo tanto, la monitorización utilizando un enfoque científico es esencial para estimar los cambios en la cantidad de carbono almacenado en los bosques.

El Centro de Investigación y Desarrollo REDD, Instituto de Investigación Forestal y de Productos Forestales, compiló el "Libro de Recetas REDD-plus" en 2012, un manual técnico fácil de entender que provee los conocimientos básicos y las técnicas requeridas para REDD-plus, centrándose primariamente en métodos de monitorización del carbono forestal. Los conocimientos y las técnicas requeridas para REDD-plus vienen recogidas en unidades denominadas "Recetas". Este "Libro de Recetas REDD-plus" está dirigido a los planificadores y administradores de políticas que trabajan en la introducción de REDD-plus y a los profesionales y expertos que trabajan en las actividades de REDD-plus.

Por otra parte, como el Libro de Recetas REDD-plus explica concentradamente los conocimientos básicos y las técnicas requeridas, es posible que los expertos que trabajan en las actividades de REDD necesiten más información detallada para realizar sus actividades de campo. Por esta razón, se elaboró el "Anexo del Libro de Recetas REDD-plus" para proporcionar a los expertos información más detallada sobre cada "Receta" y que estos puedan realizar sus investigaciones de campo. En este manual se explican los métodos de medición específicos. Además, este manual puede ser utilizado como libro de texto para mejorar las capacidades profesionales. Con el fin de tener una mejor comprensión tecnológica sobre estos temas, se recomienda leer este manual junto con el Libro de Recetas REDD-plus.

El Centro de Investigación y Desarrollo REDD espera que este manual contribuya a la promoción de REDD-plus en diversas partes del mundo.

1 de enero de 2016

Centro de Investigación y Desarrollo REDD  
Instituto de Investigación Forestal y Productos Forestales



## Índice de contenidos

<b>1 Resumen</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo del Anexo del Libro de Recetas REDD-plus	1
1.2 Cómo usar este manual	1
1.3 Contenidos relacionados cubiertos por el Libro de Recetas REDD-plus	1
<b>2 Método para instalar las parcelas de muestreo</b>	<b>2</b>
2.1 Propósito de la instalación de las parcelas de muestreo	2
2.2 Diseño del inventario	3
2.3 Diseño de las parcelas	5
2.4 Herramientas necesarias para realizar el inventario	6
2.5 Miembros del equipo para la realización del inventario	6
2.6 Instalación de las parcelas en el campo	7
<b>3 Medición de las parcelas</b>	<b>10</b>
3.1 Herramientas necesarias para el inventario	10
3.2 Miembros del equipo	10
3.3 Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP)	11
3.4 Medición de la altura de los árboles	14
3.5 Identificación de las especies de árboles	15
3.6 Medición de la capa de hojarasca	15
3.7 Medición de la madera muerta	16
<b>4 Análisis de datos para calcular las reservas de carbono</b>	<b>20</b>
4.1 Cálculo de la biomasa aérea	20
4.2 Cálculo de la biomasa subterránea	21
4.3 Masa de hojarasca	22
4.4 Cálculo de la masa de la madera muerta	22
4.5 Conversión de biomasa a reserva de carbono	24
<b>Citas</b>	<b>26</b>

## 1 Resumen

### **1.1 Objetivo del Anexo del Libro de Recetas REDD-plus**

El Libro de Recetas REDD-plus, publicado en 2012 por el Instituto de Investigación Forestal y Productos Forestales, es un manual técnico fácil de entender que proporciona conocimientos básicos y las técnicas requeridas para REDD-plus, centrándose principalmente en los métodos de monitorización del carbono forestal. Este manual explica los métodos de inventario centrándose particularmente en el inventario basado en el terreno necesario para desarrollar ecuaciones con el fin de estimar las reservas de carbono por unidad de área, métodos que se explican en la estimación de las reservas de carbono forestal en el Libro de Recetas REDD-plus de manera más superficial.

Este manual está dirigido a expertos que recogen datos sobre las reservas de carbono forestal in situ. Esperamos que este manual también sea útil para estudiantes de silvicultura y ecología forestal, para ONGs interesadas en REDD-plus y para personas involucradas en este campo.

### **1.2 Cómo usar este manual**

Los inventarios basado en el terreno se realizan instalando una serie de parcelas; por esta razón, la medición precisa, de modo que no se den diferencias en las mediciones de las diferentes parcelas, es de una importancia crítica. En particular, cuando el inventario es realizado por más de un equipo de forma simultánea, el método de investigación debe ser cuidadosamente revisado con antelación. De acuerdo con esto, es aconsejable conocer el proceso para realizar el inventario, leyendo este manual, antes de planificar el inventario basado en el terreno.

En este manual, el capítulo 2 explica cómo instalar las parcelas necesarias para realizar el inventario basado en el terreno, el capítulo 3 explica el procedimiento para realizar el inventario de manera precisa y el capítulo 4 explica los métodos de cálculo específicos de las reservas de carbono por unidad de área partir de los datos de inventario obtenidos en el campo.

Por favor, consulte los **CONSEJO**, en donde se recogen algunas indicaciones importantes a tener en cuenta gracias a la experiencia acumulada de estudios de campo basado en el terreno realizados hasta ahora.

### **1.3 Contenidos relacionados cubiertos por el Libro de Recetas REDD-plus**

Las recetas relacionadas cubiertas en el Libro de Recetas REDD-plus vienen indicadas mediante corchetes [ ].

Por favor, consulte el Libro de Recetas REDD-plus.

El Libro de Recetas REDD-plus se puede descargar desde el sitio web mencionado a continuación.

[http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub\\_db/publications/cookbook/index\\_en.html](http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook/index_en.html)

## 2 Métodos para instalar las parcelas de muestreo

### **2.1. Propósito de la instalación de las parcelas de muestreo**

En las directrices del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de 2006 se presentan dos métodos para calcular los cambios en las reservas de carbono (biomasa forestal): el método por defecto (método de pérdidas y ganancias) y el método de diferencia de reservas. El método de pérdidas y ganancias calcula los cambios en la reserva de carbono tomando la diferencia entre los incrementos, por la absorción del crecimiento de la biomasa, y disminuciones en las emisiones, debido a la tala y a perturbaciones naturales, mientras que en el método de diferencia de reservas el cambio en las reservas de carbono (que reflejan las emisiones y las absorciones) se determina a partir de las diferencias en las reservas de carbono en diferentes momentos en el tiempo **[Receta-P04, P07]**.

El método de pérdidas y ganancias requiere datos precisos sobre las pérdidas de las reservas por la tala y las perturbaciones forestales, pero para muchos países obtener dicha información estadística de manera precisa es difícil. Por esta razón, para muchos países es más aplicable el método de diferencia de reservas, en el cual se asume que la diferencia en las reservas de carbono en dos momentos diferentes es igual a las emisiones y absorciones durante ese intervalo de tiempo **[Receta-P07]**. Para comprender a nivel nacional los cambios en las reservas de carbono es eficaz utilizar de manera combinada la estimación del área que utiliza la teledetección (índice de actividad) y las reservas de carbono por unidad de área (factor de emisiones) obtenidas mediante el inventario basado en el terreno.

La estimación de la cantidad de reservas de carbono por unidad de área se realiza utilizando dos métodos: un método que mide directamente la cantidad de carbono forestal (método de parcelas permanentes de muestreo) y el método que mide indirectamente la cantidad de carbono utilizando un modelo de estimación **[Receta-P09]**. Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas y son aplicables bajo diferentes condiciones. Un inventario terrestre que utiliza parcelas permanentes de muestreo tiene la ventaja de que puede utilizarse para detectar cambios en el uso de la tierra, como puede ser la conversión de suelos en tierras de cultivo y la tala selectiva, y puede monitorizar reservas forestales de carbono en un gran área a lo largo del tiempo **[Receta-P09]**. Hasta ahora, a nivel nacional, se lleva a cabo la monitorización en amplias áreas para detectar las reservas de carbono forestal mediante el método de parcelas permanentes de muestreo (PPM), es decir, la instalación de una serie de parcelas permanentes de muestreo **[Receta-P10]**. En este manual se explican los métodos de instalación y medición sobre el método de investigación para el inventario basado en el terreno que utiliza las parcelas permanentes

de muestreo que son técnicamente altamente realizables.

Este manual, de entre los depósitos de carbono forestal que hay, se centra en cuatro de los depósitos de carbono, exceptuando la materia orgánica del suelo (biomasa aérea, biomasa subterránea, hojarasca y madera muerta).

### **2.2 Diseño del inventario**

#### **2.2.1 Información auxiliar**

Para calcular las reservas forestales de carbono por unidad de área, es necesario instalar un gran número de parcelas permanentes de muestreo; sin embargo, cuando se ha realizado el Inventario Forestal Nacional (IFN) **[Receta-T01]** en el país de destino, se puede determinar el número de parcelas requeridas para obtener datos de alta precisión basándose en los resultados del IFN **[Receta-T12]**. Además, es necesario recopilar estudios de casos sobre las reservas de carbono forestal realizadas en el país de destino hasta la fecha y saber si se han desarrollado ecuaciones alométricas necesarias para calcular la biomasa **[Receta-T03]**. En caso de no contar con información suficiente, se utilizan datos sobre países y regiones vecinas.

#### **2.2.2. Instalación de parcelas de muestreo**

Para evitar que las parcelas permanentes de muestreo se concentren en lugares fácilmente accesibles, como por ejemplo cerca de caminos o aldeas, estas deben instalarse utilizando un método de muestreo aleatorio simple o un método de muestreo sistemático **[Receta-P10, T12]**. Además, un método de muestreo estratificado, en el que el número de sitios de muestreo y sus ubicaciones por categorías forestales se deciden de antemano sobre la base de datos de teledetección, puede mejorar mucho la eficiencia del estudio de muestreo **[Receta-T12]**.

Un medio eficaz de estratificación es crear una matriz de estratificación (Fig. 1). Esta matriz está compuesta de dos ejes: un eje muestra los tipos de bosques y el otro muestra el estado o condición del bosque (el grado de degradación forestal o el estado de sucesión) **[Receta-T12]**.

Tipo de bosque	Condición del bosque			
Bosque bajo	Maduro	Talado selectivamente	Secundario (edad media)	Secundario (edad joven)
Bosque seco	Maduro	Talado selectivamente	Secundario (edad media)	Secundario (edad joven)
Plantación	Madura	Edad media		Edad joven



Figura 1: Ejemplo de matriz de estratificación  
El eje horizontal indica la condición del bosque y el eje vertical indica los tipos de bosque.

### 2.2.3 Número de parcelas requeridas

Cuando un bosque está dividido en  $L$  estratos, el número total requerido de parcelas permanentes de muestreo ( $n$ ) se obtiene mediante el método de muestreo estratificado de la siguiente manera:

$$n = \frac{[\sum_{i=1}^L N_i * S_i]^2}{(N * \frac{E}{t})^2 + \sum_{i=1}^L N_i * (S_i)^2}$$

Aquí  $i$  es el estrato,  $L$  es el número de estratos,  $N$  es el número máximo de parcelas en el área objetivo (un valor obtenido dividiendo la superficie de la región objetivo total por el área de la parcela de muestreo),  $N_i$  es el número máximo de parcelas en cada uno de los estratos (el valor obtenido dividiendo cada área del estrato por el área de la parcela de muestreo),  $S_i$  es la desviación estándar de cada estrato,  $E$  es el error permisible en la cantidad estimada (por ejemplo, el 10 % del valor promedio de la biomasa), y  $t$  es un 5 % del nivel de significancia de la distribución  $t$ .

El costo de instalar parcelas no se tiene en cuenta en la fórmula anterior. El costo total, incluyendo el costo de instalar parcelas se calcula utilizando una fórmula diferente, pero no hay gran diferencia en la información numérica necesaria **[Receta-T12]**.

Después de calcular el número total requerido de parcelas utilizando la fórmula de arriba, se puede determinar el número de parcelas requeridas para cada estrato ( $n_i$ ) de la siguiente manera:

$$n_i = n \times \frac{N_i \times S_i}{\sum_{i=1}^L N_i \times S_i}$$

## 2.3. Diseño de las parcelas

### 2.3.1 Área de las parcelas

El área, en general, de las parcelas de muestreo es de entre 0,1 a 1 ha. Cuanto mayor sea el área de cada parcela de muestreo permanente, mayor será la precisión de la estimación de la reserva de carbono; sin embargo, hay que considerar que para realizar las mediciones es necesario emplear tiempo y recursos económicos. Por otro lado, si el área de cada parcela de muestreo es pequeña, la medición requerirá relativamente de poco tiempo y gasto, pero la precisión de la estimación de la reserva de carbono disminuirá [Receta-T13]. Además, a la hora de determinar el área de las parcelas es muy útil tomar como referencia inventarios forestales nacionales (IFN) y estudios previos relacionados con las reservas de carbono realizados en el pasado.

### 2.3.2 Forma de las parcelas

En general, las parcelas de muestreo, por su forma, se dividen en dos tipos: parcelas de forma rectangular y de forma circular (Fig. 2). Cada forma tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, en caso de tratarse de parcelas de muestreo circulares, es suficiente con colocar una estaca en el punto central, pero puede ser difícil saber si los árboles individuales cerca del límite de la parcela están dentro de la parcela y si estos son objeto de medición. Por otro lado, una parcela rectangular requiere colocar por lo menos una estaca en las cuatro esquinas, pero es fácil determinar si un árbol es un objetivo de medición debido a que las líneas de la parcela son rectas.

Para realizar la determinación exacta de la estructura forestal de una parcela de muestreo, se deben medir todos los árboles vivos ubicados dentro de la parcela; sin embargo, esto es costoso tanto en tiempo como en esfuerzo. Se puede economizar tiempo y esfuerzo usando una estructura de parcela anidada (área gris de la figura 2) [Receta-T13].

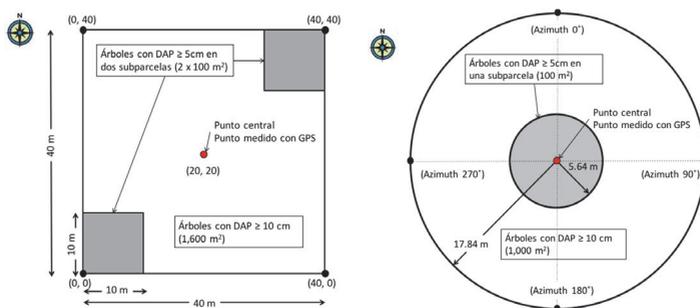


Figura 2: Forma de las parcelas de muestreo  
Izquierda: Parcela cuadrada (0,16 ha), Derecha: Parcela circular (0,1 ha)

## 2.4. Herramientas necesarias para realizar el inventario

Las herramientas necesarias para instalar las parcelas se indican en la Tabla 1. La medición de la distancia en el bosque se puede llevar a cabo de manera eficiente utilizando herramientas de medición como puede ser el caso de un telémetro láser o un telémetro ultrasónico.

Tabla 1: Herramientas necesarias para instalar las parcelas

Dispositivo	Número	Observaciones
Telémetro láser	1 unidad	Para realizar mediciones de las distancias horizontales
Cintas métricas (30 m-50 m)	1-3 unidades	En caso de no disponer de un telémetro láser, primero se realiza las mediciones de las distancias inclinadas con una cinta métrica
Clinómetro	1 unidad	Para registrar las inclinaciones de las parcelas
Brújulas	1-2 unidades	Para instalar las parcelas y medir la orientación
GPS	1 unidad	Para registrar la posición de las parcelas
Estacas delimitadoras	Más de una	El material de las estacas difiere dependiendo de la ubicación de las parcelas
Cámara digital	1 unidad	Para registrar el tipo de bosque de las parcelas

### CONSEJO

Debe tenerse en cuenta que un telémetro ultrasónico puede ser perturbado por el sonido de un arroyo cercano o el zumbido de las cigarras, etc.

## 2.5. Miembros del equipo para la realización del inventario

Después de decidir el punto a medir, debe determinarse con claridad el compartimento de la parcela. Para esto, se necesita el personal que se indica en la Tabla 2. La medición se llevará a cabo de manera más eficiente con más de un equipo.

Tabla 2: Miembros necesarios para instalar las parcelas

Funciones	Nº de miembros ideales	Observaciones
Personal para utilizar el telémetro láser	1-2 personas	Se realizan las indicaciones para instalar las parcelas (orientación y medición de las distancias)
Personal para realizar los registros	1 persona	Registra información sobre la posición, inclinación, orientación, etc., de las parcelas instaladas.
Personal asistencial	2-4 personas	Colocación de las estacas delimitadoras de las parcelas, etc.

## 2.6. Instalación de las parcelas en el campo

### 2.6.1 Información que debe registrarse

Las parcelas de muestreo se clasifican en dos tipos: parcelas permanentes de muestreo (PPMs) (para mediciones repetidas) y parcelas temporales de muestreo (para usarse una sola vez). En ambos casos, se debe registrar la ubicación de la parcela medida usando un GPS. Al instalar las parcelas hay una gran cantidad de información que debe ser registrada como se muestra en la Tabla 3, pero parte de la información debe ser recolectada de antemano.

Además, se debe registrar la información sobre el bosque donde se instala la parcela de muestreo, incluyendo el historial sobre las perturbaciones pasadas y condiciones de las áreas circundantes. Se debe registrar con el mayor detalle posible el tipo de perturbaciones, incluyendo las alteraciones inducidas por el hombre (tala, conversión en tierras agrícolas, etc.) o alteraciones naturales (incendios, daños climatológicos, etc.). También deben registrarse con el mayor detalle posible el grado y duración de las perturbaciones, porque estos factores afectan a las reservas forestales de carbono.

Tabla 3: Información para ser registrada al instalar las parcelas

Información	Observaciones
Posición (latitud y longitud)	Se registra con un GPS. También se registra la información sobre las coordenadas utilizadas al realizar los registros.
Altitud	Altitud de los puntos estándar (punto central, etc.)
Ángulo de inclinación	
Tipo de bosque	Se clasifica por ejemplo en bosques de hoja perenne, bosques de hoja caduca, reforestación, etc.
Orientación de la pendiente	
Historial de las perturbaciones pasadas	Si ha habido incendios, talas, etc. En caso que haya habido alguna perturbación se registra, lo más exactamente posible, su duración.
Condición de los lugares adyacentes	Se registra la utilización de los terrenos adyacentes

### 2.6.2 Procedimientos para instalar una parcela

Aquí explicamos el procedimiento específico para instalar una parcela tomando como ejemplo un diagrama de forma rectangular (40 m × 40 m).

En primer lugar, seleccione la ubicación candidata para instalar una parcela basada en la ubicación predeterminada (la distancia desde la carretera forestal, etc.). Después de seleccionar la ubicación candidata, determine los puntos de referencia e instale la parcela.

Aquí, el punto de referencia es el punto central de la parcela (Figura 3a) y, luego, registre la posición mediante un GPS.

Para crear una estructura de parcela anidada en el interior de la parcela, es necesario establecer los puntos de la cuadrícula a intervalos de 10 m. Desde allí, extienda las líneas del estudio hacia el norte y el sur 10 m, respectivamente, desde el punto central (un total de 20 m) (Figura 3b). Después de extendidas las líneas 20 m, cambie la dirección 90 grados y después extienda la línea en dirección este y oeste 20 m, respectivamente. En el punto donde la línea del estudio se extiende 20 m, establezca una estaca como punto límite (Figura 3c). Con el fin de establecer una cuadrícula con un intervalo de rejilla de 10 m, dibuje una línea en un patrón en forma de espina de pescado a lo largo del punto central (Figura 3d) y luego haga un subcuadrado, extendiendo la línea del estudio hacia el punto límite (Figura 3e). Aquí, la distancia del intervalo de la cuadrícula no es la distancia de la pendiente sino la distancia horizontal por lo que hay que tener cuidado. Las estacas establecidas en el punto límite, es decir, la esquina del punto de referencia y la parcela sirven como puntos de referencia en el momento de la medición. Cuando se instalan parcelas permanentes de muestreo, es importante seleccionar estacas hechas de materiales duraderos (Tabla 4). Por ejemplo, en lugares en donde se producen incendios con frecuencia son apropiadas las estacas de hormigón **[Receta-T13]**.

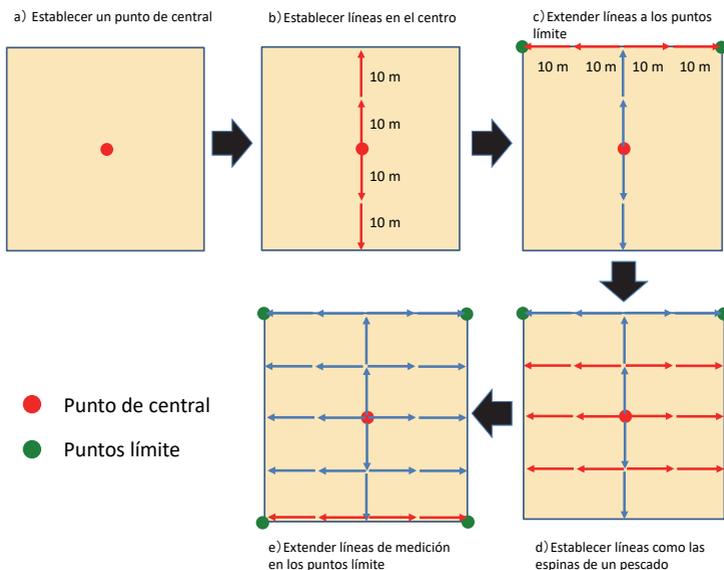


Figura 3: Ejemplo de procedimiento para instalar parcelas de muestreo (cuadrada de 40 m x 40 m)

Tabla 4: Materiales de las estacas para instalar las parcelas

Material de las estacas	Tipo de parcelas	Características
Tubo de PVC	Permanentes/ Ocasionales	Son fáciles de obtener y relativamente baratas. No son resistentes al fuego y se deterioran fácilmente en lugares expuestos a la luz directa del sol.
Metal como por ejemplo de aluminio	Permanentes	Son caras pero resistentes
Hormigón	Permanentes	Son duraderas y resistentes al fuego pero para colocarlas se necesita esfuerzo.
Madera	Permanentes/ Ocasionales	Se obtienen fácilmente. La madera se pudre con facilidad por lo que no son muy duraderas.

**CONSEJO**

Hoy en día se usan extensamente herramientas fáciles de usar para medir la distancia horizontal. En caso de que dichos equipos no estén disponibles, sería conveniente preparar una tabla de conversión para convertir la distancia de pendiente a la distancia horizontal deseada.

### 3 Medición de las parcelas

#### 3.1. Herramientas necesarias para el inventario

En la Tabla 5 se muestran las herramientas necesarias para la prospección de inventario para estimar las reservas de carbono forestal. Se pueden requerir otras herramientas dependiendo del área objetivo, pero estas herramientas son suficientes para medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles.

Tabla 5: Herramientas utilizadas para realizar el inventario

Herramientas	Número	Observaciones
Cintas métricas (de aprox. 10 m)	Varias	Para medir el DAP
Telémetro láser	1 unidad	Para medir la altura de los árboles
Etiquetas	Nº plural	Se utilizan para identificar a los árboles individualmente que se miden. Pueden ser de vinilo, plástico, aluminio, etc.
Grapadoras	Varias	Para fijar las etiquetas en los árboles
Rotuladores	Varios	Para registrar la posición de las mediciones del diámetro. También se utilizan para no medir un árbol varias veces.
Binoculares	Varios	Para identificar las especies de árboles
Tijeras de podar de ramas altas	1 unidad	Se utilizan para recoger muestras para identificar las especies de árboles
Tirachinas (resortera)	1 unidad	Se utiliza para recoger muestras en lugares donde las tijeras de podar no llegan

#### 3.2. Miembros del equipo

Se necesita un equipo de dos personas para realizar el inventario; una para medir el DAP y la altura de los árboles y la otra para registrar datos (Tabla 6, Fotografía 1). En general, la altura del árbol se mide después de medir el DAP; sin embargo, si se pueden constituir equipos para realizar estos trabajos simultáneamente, se puede ahorrar tiempo para realizar el inventario.

Tabla 6: Personal necesario para realizar el inventario

Función	Nº deseable de personas	Observaciones
Registro de los datos de los árboles	1-2 personas	Si se dispone de varias personas que comprendan los pasos necesarios para la realización del inventario, este se puede realizar más eficientemente.
Medición del DAP	1-2 personas	Si se dispone de varias personas, mientras una realiza la medición del DAP la otra puede colocar las etiquetas
Medición de la altura de los árboles	1-2 personas	Dependiendo del número de dispositivos de medición de la altura de los árboles
Clasificación de las especies	1-2 personas	Los registradores de datos también pueden realizar esta tarea

### 3.3. Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP)

El procedimiento para la medición básica del DAP es como se indica a continuación:

- Registro de la posición del árbol seleccionado como objeto de medición,
- Asignación de un número de identificación único para el árbol y colocación de una etiqueta con ese número en el árbol,
- Medición del diámetro del árbol a la altura del pecho (DAP),
- Marcación de la posición de las mediciones,
- Identificación y registro de las especies,
- Registro de otro tipo de información que sea pertinente.



(1) Herramientas



(2) Inventario llevado a cabo por un equipo de dos personas

Fotografía 1: Inventario en el campo

### 3.3.1 Registro de la posición de los árboles seleccionados como objeto de medición

La parcela de muestreo indicada en la sección 2.6.2 se puede dividir en 16 subparcelas cuadradas de 10 m de lado. Cada parcela de muestreo utiliza una estructura anidada, por lo que es necesario tener en cuenta que el DAP de los árboles objeto de las mediciones varía dependiendo de las subparcelas.

En la parcela permanente de muestreo se debe registrar las posiciones de los árboles para realizar las mediciones segundas y posteriores, y también debe determinarse la ruta para realizar las mediciones. Las posiciones de los árboles individuales se pueden registrar con facilidad y claridad colocando el número de código en cada subparcela. Por otra parte, si los árboles están numerados en un patrón regular, por ejemplo, en una dirección antihoraria desde la estaca utilizada como punto de partida, será fácil decir si algún árbol ha desaparecido cuando se realicen mediciones futuras [Receta-T13]. Las mediciones dobles se pueden evitar simplemente registrando el número de subparcela en la que se encuentran los árboles individuales que son objeto de medición.

Todos los árboles individuales designados como objeto de medición deben tener asignado un número único (número identificador), y luego el número debe de ser grabado en una etiqueta, como por ejemplo en una etiqueta de aluminio, de venta en comercios, y esta debe colocarse a los árboles medidos individualmente (Fotografía 2). Cuando sea difícil colocar la etiqueta en un árbol, el número deberá escribirse directamente en el tronco usando pintura, o la posición deberá ser registrada utilizando el sistema de código de subparcelas antes mencionado.

### 3.3.2 Mediciones del diámetro a la altura del pecho (DAP)

En general, el DAP se mide a una altura de 1,3 m por encima del suelo. Cuando se mide el tronco utilizando una cinta métrica, sostenga la cinta métrica con firmeza, tenga cuidado de que no quede floja alrededor del tronco. Antes de medir el diámetro de los árboles individualmente, compruebe sin falta los puntos de las mediciones. Si un árbol tuviera una protuberancia que pudiera falsear el verdadero diámetro, entonces ese lugar deberá ser evitado. Si hubiera alguna liana trepadora alrededor del árbol, se intentará realizar la medición del diámetro sin la liana. Si este fuera el caso, no se olvidará de anotar en el espacio reservado a las observaciones que se ha realizado la “medición sin la liana” o que “se ha evitado la protuberancia en la medición”, etc. En algunos casos, en los bosques cubiertos por la niebla los troncos están cubiertos densamente por briófitos. En ese caso, retire con cuidado los briófitos en la posición de la medición del DAP. Además, debe determinarse cuidadosamente la posición de medición si el árbol tiene raíces tabulares. La práctica usual es la de establecer la altura de la posición de la medición a 50 cm por encima de la parte superior de la raíz tabular (Fotografía 3).



Fotografía 2: Etiquetado y marcación de la posición de las mediciones



Fotografía 3: Medición del diámetro de árboles con raíces tabulares utilizando una escalera

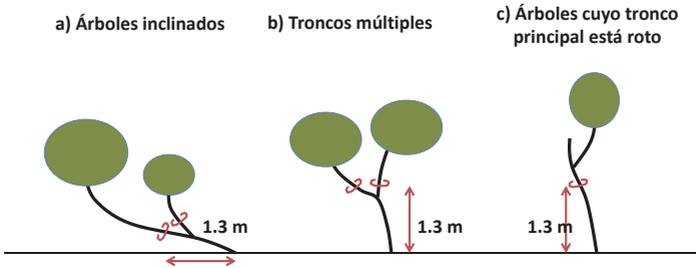


Figura 4: Ejemplo de medición del DAP para troncos inclinados o múltiples

Los troncos de los árboles individuales a medir no deben necesariamente ser rectos o tener un único tronco. La medición del DAP de un árbol inclinado debe hacerse a 1,3 m de la base medida a lo largo del tronco (Fig. 4a) y no a 1,3 m de altura desde el suelo. En los bosques secundarios hay muchos árboles de troncos múltiples, en ese caso la medición del DAP de troncos múltiples debe realizarse a una altura de 1,3 m de la base del árbol (Fig. 4b). Si el tronco principal está marchito o roto pero no muerto, el DAP del árbol debe medirse a 1,3 m sobre el suelo, de la misma manera que las mediciones regulares (Fig. 4c). Además, la medida del DAP debe hacerse siempre desde la parte superior de la pendiente, y es recomendable marcar la posición de la medición con pintura para la próxima medición (Fotografía 2).



### **3.5 Identificación de las especies de árboles**

Después de medir el DAP y la altura de los árboles es necesario identificar las especies de estos. Las ecuaciones alométricas que se utilizan para calcular las reservas de carbono utilizan a veces la densidad de la madera, por esta razón es necesario conocer las especies de los árboles. En los bosques tropicales la identificación de las especies arbóreas es difícil debido al gran número de éstas. Cuando la identificación de las especies de árboles se hace difícil, se tratará de identificar el mayor número posible, preferentemente a nivel de su género.

Cuando se encuentren especies desconocidas al realizar el inventario de campo, será conveniente tomar nota de sus características lo más minuciosamente posible, como por ejemplo describiendo la disposición de las hojas (alternas, opuestas, compuestas, etc.), así como el color de la corteza y de la savia. Recoja tantas muestras de hojas como sea posible para la posterior identificación por expertos.

### **3.6 Medición de la capa de hojarasca**

La capa de hojarasca está compuesta de hojas y ramas caídas, incluyendo madera muerta sobre el suelo mineral. La madera muerta con un diámetro superior a 10 cm se mide utilizando el método que se explica en la siguiente sección (vea la sección 3.7).

La medición de la capa de hojarasca se realiza mediante 1) la creación de un área delimitada de un tamaño determinado, 2) la recolección de las hojas y ramas caídas dentro de esa área delimitada, y 3) la medición del peso seco en el laboratorio. En general, un espacio cuadrado de 50 cm de lado (50 cm x 50 cm) es suficiente para recoger las muestras necesarias (Fotografía 4).

Toda la madera muerta de un diámetro menor que 10 cm recogida en un área delimitada ligeramente mayor (por ejemplo, un cuadrado de 2 m x 2 m) se pesa en seco en un laboratorio. Normalmente, hay demasiada madera muerta recogida de acuerdo con este procedimiento para llevarla al laboratorio, por lo que, después de medir el peso en fresco en el campo, se deberá crear una submuestra para poder medir el peso en seco.



(1) Creación de un cuadrado (50 cm x 50 cm)



(2) Situación después de recolectar la hojarasca de la parcela

Fotografía 4: Método de medición de la capa de hojarasca

**CONSEJO**

Es recomendable introducir las muestras recogidas en el área delimitada en una bolsa de papel, ya que así se pueden introducir directamente en el horno de secado.

### 3.7 Medición de la madera muerta

La madera muerta viene definida en este manual como todo el material de madera muerta que mida 10 cm o más en diámetro y cuya forma se puede clasificar en tres tipos: tocones, árboles muertos en pie (incluyendo troncos rotos) y árboles caídos. A continuación, se explica el método de medición de cada uno de éstos tipos.

#### 3.7.1 Definición del grado de descomposición

El primer paso para medir el peso de la madera muerta (necromasa) es determinar el volumen de madera existente, sea de la forma que sea. La densidad de la madera se usa para convertir volumen de madera en peso, pero el grado de descomposición varía mucho, dependiendo de la madera muerta individualmente. Por esta razón, la densidad de la madera también varía. De acuerdo con esto, para medir la madera muerta es necesario juzgar el grado de descomposición tomando como referencia los estándares indicados a continuación. El grado de descomposición de la madera muerta se clasifica muchas veces de 3 a 5 clases, sin embargo en este manual utilizamos 3 clases definidas por Chao et al.

Clase 1: Material muerto recientemente, con más del 75% de madera con su corteza dura, y a veces todavía con pequeñas ramas.

Clase 2: Material deteriorado, la madera se está descomponiendo. O queda el duramen pero no la corteza.

Clase 3: Por lo menos un 75% de toda la madera está blanda y pudriéndose. La hoja de un machete puede introducirse con facilidad y si se pisa, ésta colapsa.

**CONSEJO**

Las diferencias entre la clase 2 y la clase 3 son fácilmente identificables si utilizamos un clavo. En la madera de clase 3 se puede introducir un clavo sin hacer fuerza. Sin embargo, en la madera de clase 2 no es tan fácil introducir un clavo aun utilizando la fuerza.

**3.7.2 Tocones**

Debido a que en el interior de un bosque degradado se pueden encontrar frecuentemente tocones, es importante saber el volumen de estos. Primero, se miden las dos direcciones perpendiculares al diámetro del tocón (Fotografía 5). Después, se mide la altura desde la superficie del tocón hasta el suelo. La altura de un tocón con una superficie irregular deberá medirse en la mitad de la superficie más alta y más baja.



(1) Dirección de las mediciones del diámetro



(2) Medición del tocón

Fotografía 5 Método de medición del diámetro de los tocones

**3.7.3 Árboles en pie muertos**

En caso de tratarse de árboles muertos en pie, se mide el DAP y la altura de los árboles. La medición de la altura de los árboles se puede omitir mediante el uso de la curva de altura relacionada con el DAP. La determinación de la clase de descomposición también es necesaria. Los árboles en pie muertos aún con las ramitas finas justamente después de secarse se clasifican como Clase 1, mientras que los árboles en pie muertos cuyas ramas pequeñas se han caído y solo quedan las grandes ramas en los árboles se clasifican como Clase 2.

En caso de que se trate de troncos rotos, se mide la altura hasta el punto de rotura y también el diámetro del lugar en el punto medio del tronco. Si se trata de un árbol roto de menos de 4 m de altura, es posible medir el diámetro en el punto medio. Si se trata de árboles rotos de mayor altura, se hace dificultoso medir su diámetro. En ese caso, se utiliza el valor del DAP como alternativa.

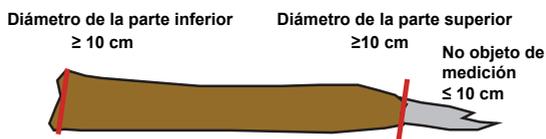


Figura 6: Estándar de medición de árboles caídos

### 3.7.4 Árboles caídos

Dentro de los métodos típicos para medir el volumen de árboles caídos está el método de inventario de parcelas y el método de transecto lineal. En este manual, se explica la medición utilizando el método de inventario de parcelas.

Todos los árboles caídos (árboles arrancados de raíz inclusive) en la parcela de muestreo con más de 10 cm de diámetro son objeto de medición. Sin embargo, la parte extendida con menos de 10 cm de diámetro es ignorada (parte gris en la Fig. 6). Por otro lado, la parte de los árboles caídos que se extiende fuera de la parcela (líneas rojas de la Fig. 7) no se mide, mientras que los árboles caídos dentro de la parcela se miden completamente aunque la posición de las raíces quede fuera del área delimitada (líneas azules en la Fig. 7).

Basándonos en este criterio, a los árboles caídos dentro de la parcela se les mide la longitud y el diámetro en ambos extremos (Fotografía 6). Además, se registra la clase de descomposición de manera individual.



(1) Medición del diámetro



(2) Medición de la longitud

Fotografía 6: Medición de los árboles caídos

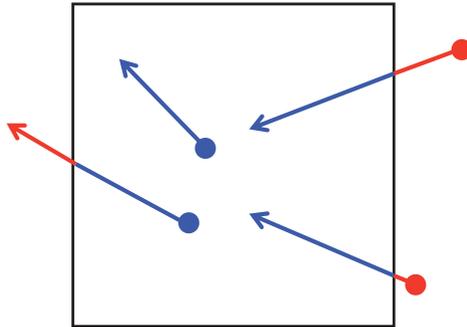


Figura 7: Estándar de medición de árboles caídos en el interior de la parcela

Azul indica los objetos a medir y rojo indica las partes que no son objeto de medición. El símbolo siguiente

- indica la posición de las raíces de los árboles caídos.

**CONSEJO**

Es recomendable usar una forcípula para medir el diámetro, debido a que a veces parte de los árboles caídos están enterrados en la tierra.

## 4. Análisis de datos para calcular las reservas de carbono

En este capítulo se explican los métodos para calcular las reservas de carbono utilizando los datos obtenidos de las parcelas de muestreo.

### 4.1 Cálculo de la biomasa aérea

Para estimar las reservas de carbono de las plantas en una parcela, primero, hay que calcular la biomasa aérea (AGB) utilizando ecuaciones alométricas. Por ejemplo, la ecuación alométrica desarrollada por Chave et al (2014) es una ecuación de uso general que puede utilizarse ampliamente en zonas tropicales.

$$AGB = 0,0673 * (\rho D^2 H)^{0,976}$$

Aquí  $D$  (cm) es el DAP,  $H$  (m) es la altura total, y  $\rho$  ( $\text{g cm}^{-3}$ ) es la densidad de la madera.

La densidad de madera por especie está registrada para algunas especies de árboles. Sin embargo, hay muchas especies para las que no hay datos sobre la densidad de la madera. Primero, consulte la base de datos a nivel global sobre la densidad de la madera que se indica a continuación y realice la búsqueda de los datos de cada especie.

Base de Datos Global sobre la Densidad de la Madera  
(<http://datadryad.org/repo/handle/10255/dryad.235>)

En caso de que no esté disponible la base de datos de la densidad de la madera de especies de árboles, intente encontrar el valor medio a nivel del género y después el valor medio a nivel de la familia. En caso de no encontrar datos relacionados, use un valor por defecto por continente (Tabla 7).

Tabla 7: Valores por defecto sobre la densidad de la madera por distintas regiones tropicales

Zona	Densidad de la madera( $\text{g cm}^{-3}$ )
Asia tropical	0,57
América tropical	0,60
África tropical	0,58

Fuente: Reyes et al. (1992)

Si calculamos utilizando la fórmula de uso general indicada arriba, un árbol que tiene un DAP de 20,5 cm, una altura total de 16,1 m y suponemos que no hay datos sobre la densidad de la madera apropiados por lo que utilizamos una densidad de madera de 0,60 g m<sup>-3</sup>, obtenemos los resultados siguientes:

$$\begin{aligned} \text{AGB} &= 0,0673 * (0,60 * (20,5)^2 * 16,1)^{0,976} \\ &= 0,0673 * (4059,6)^{0,976} = 223,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Después de haber calculado el AGB mediante el método indicado arriba usando los datos sobre el censo de los árboles en la parcela, se puede calcular el AGB por hectárea de la siguiente manera:

$$\text{AGB}_h = (\text{Área}_{\text{hectárea}} / \text{Área}_{\text{parcela}}) * \text{AGB}_{\text{parcela}}$$

Aquí  $\text{AGB}_h$  es la estimación del AGB por hectárea,  $\text{Área}_{\text{hectárea}}$  ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) es el área de una hectárea,  $\text{Área}_{\text{parcela}}$  es el área de una parcela de muestreo, y  $\text{AGB}_{\text{parcela}}$  es la estimación de AGB a nivel de parcela. Por ejemplo, en caso obtenerse unos resultados de 25 Mg en una parcela de 0,16 ha, sería de 156,25  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

$$\begin{aligned} \text{AGB}_h &= (1 / 0,16) * 25 \\ &= 6,25 * 25 = 156,25 \text{ Mg ha}^{-1}. \end{aligned}$$

#### 4.2 Cálculo de la biomasa subterránea

Del mismo modo que el AGB, la biomasa subterránea (BGB) también se puede calcular utilizando unas ecuaciones de estimación. Aquí presentamos la ecuación desarrollada por Mokany et al. (2006).

$$\text{BGB}_h = 0,489 * \text{AGB}_h^{0,890}$$

Aquí  $\text{BGB}_h$  es la estimación de BGB por hectárea y  $\text{AGB}_h$  es la estimación de AGB por hectárea. Después de estimar  $\text{AGB}_h$ , podemos simplemente estimar  $\text{BGB}_h$  utilizando la ecuación indicada arriba.

Además, hay otros métodos que pueden estimar la biomasa subterránea individual mediante el DAP, de la misma manera que las ecuaciones alométricas de AGB (Niiyama et al. 2010), y ecuaciones alométricas que incluyen el subsuelo (Sato et al. 2015), etc.

### 4.3 Masa de hojarasca

Debido a que una muestra de la capa de hojarasca se recoge en una parcela determinada, simplemente es necesario determinar el coeficiente del área de muestreo por hectárea. Por ejemplo, si se obtienen 150 g de peso seco de hojarasca dentro de un área delimitada de 50 cm, el valor por hectárea ( $Lt_h$ ) se calcula de la siguiente manera:

$$Lt_h = Lt_s * (10.000 / A_s) = 150 * (10.000 / 0,25) = 150 * 40.000 = 6.000.000 \text{ g} = 6.000 \text{ kg}$$

Aquí  $Lt_h$  es el peso en seco de la hojarasca de la muestra (g), y  $A_s$  es el área de muestreo ( $m_2$ ).

### 4.4 Cálculo de la masa de la madera muerta

Para estimar la masa de madera muerta, nosotros calculamos inicialmente el volumen de la madera muerta en el interior de la parcela. Al final, debemos convertir el volumen de la madera muerta en peso (masa de la madera muerta) usando las densidades de la madera, basándonos en la clase de descomposición. En caso de los tres grados de descomposición indicados en la sección 3.7.1., se indica la densidad de la madera como se muestra en la Tabla 8 para los bosques Amazónicos del Perú (Chao et al. 2008). Idealmente se deberían obtener datos de la densidad de la madera de cada proyecto, pero en realidad, en muchos casos, se utilizan valores de datos ya existentes.

Tabla 8: Ejemplo de densidad de la madera según la clase de descomposición de los bosques tropicales de la Amazonía

Clase de descomposición	Densidad de la madera (WD) ( $g \text{ cm}^{-3}$ )
1	0,55
2	0,41
3	0,23

Fuente: Chao et al. (2008)

#### 4.4.1 Tocones

El volumen de tocones puede calcularse utilizando la fórmula de Huber.

$$V = A * L * 100$$

Aquí  $V$  es el volumen ( $m^3$ ),  $A$  es el área de la sección transversal del tocón ( $m^2$ ), y  $L$  es la altura del tocón (m). Si el extremo cortado tiene una forma elíptica, el área de la sección transversal se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$A = (d_1/2) * (d_2/2) * \pi$$

Aquí d1 y d2 son los dos diámetros ortogonales.

Por ejemplo, el volumen para un tocón que tenga sus diámetros ortogonales de 64 cm y 70 cm y una altura de 0,7 m se calcula de la siguiente manera:

$$V = A * L * 100 = (64/2) * (70/2) * \pi * 0,7 * 100 = 246.301 \text{ cm}^3$$

Suponiendo que el tocón es de “clase 2” de descomposición, la necromasa se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Masa} = V * \text{WD}_{\text{clase de descomposición}} = 246.301 * 0,41 = 100.983 \text{ g} = 100,98\text{kg}$$

#### 4.4.2 Árboles muertos en pie y troncos rotos

El volumen de los árboles en pie muertos y de los troncos rotos puede calcularse, de la misma manera que los tocones, utilizando la fórmula de Huber.

$$V = A * L * 100$$

Aquí V es el volumen (cm<sup>3</sup>), A es el área seccional en el punto medio (cm<sup>2</sup>), y L es la altura del árbol (m).

Por ejemplo, si la altura es 6,5 m y el diámetro en el punto medio es de 25,6 cm, el volumen se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$V = A * L * 100 = (25,6/2)^2 * \pi * 6,5 * 100 = 334.567 \text{ cm}^3$$

Suponiendo que el tronco roto es de “clase 2” de descomposición, la necromasa se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Masa} = V * \text{WD}_{\text{clase de descomposición}} = 334.567 * 0,41 = 137.172 \text{ g} = 137,17 \text{ kg}$$

#### 4.4.3 Árboles caídos

El volumen de los árboles caídos, V (m<sup>3</sup>), puede calcularse utilizando la formula de Smalian de la siguiente manera:

$$V = L \left[ \frac{\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2}{2} + \pi \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 \right]$$

Aquí  $L$  (m) es la longitud del árbol caído y  $D$  es el diámetro (m) de ambos extremos.

Por ejemplo, el volumen de un tronco que tiene 10 cm y 20 de cm de diámetro en sus extremos y una longitud de 1,8 m se calcula de la siguiente manera:

$$V = 100 * 1,8 ((\pi(20/2)^2 + \pi(10/2)^2)/2) = 180 * (314,2 + 78,5)/2 = 35.343 \text{ cm}^3$$

Suponiendo que el árbol caído es de "clase 2" de descomposición, la necromasa se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Masa} = V * \text{WD}_{\text{clase de descomposición}} = 35.343 * 0,41 = 14.491 \text{ g} = 14,49 \text{ kg}$$

La sección transversal de los árboles caídos no es siempre circular. En caso de que la sección transversal sea cuadrada o rectangular (después de la tala se ha utilizado para su procesamiento pero ha sido abandono en el campo, etc.), se calcula multiplicando la superficie transversal por la longitud. Por ejemplo, para un tronco caído que tiene una sección transversal rectangular en los extremos de 20 cm y 10 cm y una longitud de 1,8 m, su volumen y masa (con clase de descomposición 2) se calculan simplemente así:

$$V = 100 * 1,8 * 20 * 10 = 36.000 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masa} = V * \text{WD}_{\text{clase de descomposición}} = 36.000 * 0,41 = 14.760 \text{ g} = 14,76 \text{ kg}$$

#### 4.4.4 Cálculo de la masa de la madera muerta por unidad de área

Al igual que la biomasa aérea, la masa de madera muerta también debe ser indicada como estimación por hectárea. Por ejemplo, si la cantidad total de madera muerta es de 800 kg en una parcela de 0,16 ha, la estimación por hectárea de la masa de madera muerta se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Masa de Madera muerta} = 800 * (1/0,16) = 5.000 \text{ kg} = 5,00 \text{ Mg ha}^{-1}$$

#### 4.5 Conversión de biomasa a reserva de carbono

Hasta ahora se ha calculado el peso en seco tanto de la biomasa como de la necromasa. Debemos convertir estos valores en valores de la reserva de carbono (es decir, Mg-C ha<sup>-1</sup>). En general, en ese cálculo se utiliza la "fracción de carbono de la materia seca (CF)" definida

por IPCC 2006 GPG.

Si  $AGB_h$  es  $125 \text{ Mg ha}^{-1}$ , la reserva de carbono ( $AGB_{h-c}$ ) se puede calcular de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} AGB_{h-c} &= AGB_h * CF \\ &= 125 * 0,47 = 58,75 \text{ Mg-C ha}^{-1} \end{aligned}$$

## 5 Citas

Chao K-J, Phillips OL, Baker TR (2008) Wood density and stocks of coarse woody debris in a northwestern Amazonian landscape. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 795-805.

Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Delitti WBC, Duque A, Eid T, Fearnside PM, Goodman RC, Henry M, Martínez-Yrizar A, Mugasha WA, Muller-Landau HC, Mencuccini M, Nelson BW, Ngomanda A, Nogueira EM, Ortiz-Malavassi E, Pélissier R, Ploton P, Ryan CM, Saldarriaga JG, Vieilledent G (2014) Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20: 3177-3190.

Mokany K, Raison RJ, Prokushkin AS (2006) Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12: 84-96.

Niiyama K, Kajimoto T, Matsuura Y, Yamashita T, Matsuo N, Yashiro Y, Ripin A, Kassim AR, Noor NS (2010) Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Ecology* 26: 271-284.

Reyes G, Brown S, Chapman J, Lugo AE (1992) Wood Densities of Tropical Tree Species. United States Department of Agriculture, Forestry Service, Southern Forest Experimental Station, New Orleans, Louisiana.

Sato T, Saito M, Ramírez D, Pérez de Molas LF, Toriyama J, Monda Y, Kiyono Y, Herebia E, Dubie N, Duré Vera E, Ramirez Ortega JD, Vera de Ortiz M (2015) Development of allometric equations for tree biomass in forest ecosystems in Paraguay. *JARQ* 49: 281-291.



Autores	Tamotsu Sato (Instituto de Investigación Forestal y Productos Forestales, Japón) Kazuki Miyamoto (Instituto de Investigación Forestal y Productos Forestales, Japón)
Planificación y edición	Tamotsu Sato y Masayoshi Takahashi
Citación	Este documento puede ser citado como: Tamotsu Sato y Kazuki Miyamoto, Anexo del Libro de Recetas REDD-plus (2016). Manual de Inventario Volumen 1, Método de Investigación para el Inventario basado en el terreno. Centro de Investigación y Desarrollo REDD, Instituto de Investigación Forestal y Productos Forestales, Japón. 26pp.