

Estimación de costos de oportunidad de REDD+ Manual de capacitación

Version 1.4

Capítulo 5. Medición del carbono de los usos de la tierra

Objetivos

1. Explicar conceptos básicos sobre el ciclo terrestre del carbono y sistemas globales de contabilización del carbono,
2. Guiar el análisis del carbono dentro de un marco de contabilización nacional,
3. Presentar protocolos de medición del carbono y materiales de referencia, utilizando un enfoque ascendente para mediciones del carbono desde parcela hasta uso de la tierra, paisaje/nivel subnacional y escala nacional,
4. Identificar fuentes de datos, información faltante y prioridades de medición,
5. Identificar “valores típicos de reservas de carbono” (promedios temporales) de los usos de la tierra para utilizar en un análisis de costo de oportunidad.
6. Discutir los costos de desarrollar sistemas nacionales de contabilización de carbono

Contenido

Objetivos	1
Palabras específicas sobre silvicultura y carbono.....	2
Medición del carbono	2
Establecimiento de un marco de análisis sobre el carbono	8
Cálculo de la “reserva de carbono típica” de un uso de la tierra determinado.....	10
Referencias y lectura complementaria	30



1. Numerosos términos se utilizan para la medición del carbono. Sírvase consultar el Glosario del **Apéndice A** para ver las definiciones.

Recuadro 5-1 Palabras específicas sobre silvicultura y carbono

Ecuación alométrica	Diámetro a la altura del pecho	Hojarasca
Biomasa	(DAP)	Paisaje
Flujo del dióxido de carbono	Humificación	Necromasa

Medición del carbono

2. ¿Cuánto carbono se emitiría si una determinada hectárea de bosque se convirtiera a otro uso? La respuesta a esta pregunta es un componente fundamental del análisis de los costos de oportunidad de REDD+. En este capítulo, primero se presentarán conceptos básicos sobre el ciclo terrestre del carbono (C) y los sistemas de contabilización del carbono. Luego, se mostrará cómo calcular los *valores típicos de reserva de carbono* a niveles nacional y subnacional. Se presentarán además importantes protocolos de medición de carbono y materiales de referencia junto con el modo de identificar fuentes de datos y prioridades en la medición del carbono. También se exponen cálculos de costos de la aplicación de estos métodos.

Ciclo del carbono terrestre

3. El dióxido de carbono (CO₂) es intercambiado entre la vegetación terrestre y la atmósfera. Se producen cambios en los balances netos entre el secuestro (también conocido como almacenamiento o fijación) y la liberación a lo largo de periodos de tiempo: (a) minuto a minuto (ej., cuando las nubes interceptan la luz solar), (b) patrón día-noche, a lo largo de un ciclo estacional de predominancia del crecimiento y la descomposición y (c) las etapas del ciclo de vida de la vegetación o del sistema de uso de la tierra. El presente manual aborda la última escala de tiempo, como parte de la contabilización anual (o por periodos de 5 años) del uso de la tierra y del cambio en el uso de la tierra. En esta escala de tiempo, es esperable que numerosos intercambios (o flujos) se cancelen mutuamente, por lo que es necesario enfocarse en los cambios de carbono netos.

Vincular este análisis del carbono con los actuales esfuerzos sobre MRV del carbono

4. El carbono puede tomar diversos rumbos. En la mayoría de los años, el efecto anual neto de la fotosíntesis, la respiración y la descomposición es un incremento relativamente pequeño del carbono almacenado. Sin embargo, las ganancias acumuladas en algunos casos se pierden en los años de inundaciones o cuando el fuego consume la materia orgánica. El

carbono también puede trasladarse fuera del lugar. Los productos orgánicos (como la madera, la resina, las semillas, los tubérculos) dejan el área de producción y pasan a formar parte de los flujos del comercio, usualmente concentrados en los sistemas urbanos y sus vertederos de residuos. Sólo pequeñas cantidades de reservas de carbono pueden filtrarse fuera de la tierra e ingresar en sumideros de largo plazo en ambientes de agua dulce u oceánicos, o contribuir a la formación de turba.

Deforestación y balance del carbono

5. Cuando los bosques se convierten a otros usos de la tierra, ocurre una gran liberación neta de carbono a la atmósfera. El proceso puede ocurrir en cuestión de horas en el caso de incendios, o durar años en el caso de la descomposición, o décadas cuando los productos de la madera ingresan en los sistemas domésticos/urbanos. Las emisiones netas pueden calcularse analizando la disminución o el aumento de las “reservas terrestres de carbono”. Debido a que los bosques tropicales en condiciones naturales contienen más carbono aéreo por unidad de superficie que cualquier otro tipo de cobertura terrestre (Gibbs y otros, 2007), es importante considerarlos en los esfuerzos por mitigar el cambio climático.

6. Contabilizar en forma sistemática todos los ingresos y egresos de carbono es un proceso más complejo que simplemente verificar el cambio final en el total de la reserva de carbono global. Los cálculos actuales que establecen que el “uso de la tierra, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura” (LULUCF por su sigla en inglés) son responsables del 15-20% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero se basan en este tipo de contabilización de las reservas. El secuestro neto tiene lugar en zonas templadas y las grandes emisiones netas en los trópicos. Las zonas de turberas tropicales son fuentes particularmente pequeñas con altos valores de emisión (IPCC, 2006). Para estimar los costos de oportunidad de REDD+, es necesario realizar mediciones de carbono de diversos usos de la tierra a fin de calcular los efectos del carbono de numerosos tipos de cambios en el uso de la tierra.

El carbono no es tan sólo carbono

7. El carbono se encuentra en diversos reservorios. Las reservas terrestres de carbono de todo el carbono almacenado en los ecosistemas se encuentran en:

- Biomasa de plantas vivas (aérea y subterránea)
- Biomasa de plantas muertas (aérea y subterránea)
- Suelo (en materia orgánica de la tierra y, en cantidades ínfimas, como biomasa animal y de microorganismos)

8. En la orientación de IPCC, a estos reservorios se los describe como *biomasa aérea*, *biomasa subterránea* y *madera muerta y hojarasca*, y *carbono del suelo*. Los términos anteriores se encuentran resumidos en la Figura 5.1 y se explican con más detalles en los siguientes párrafos.

Tabla 5-1 Cuatro reservorios de carbono de IPCC

	<i>Viva</i>	<i>Muerta</i>
<i>Aérea</i>	Biomasa (troncos, ramas, hojas de vegetación leñosa y no leñosa)	Madera y hojarasca
<i>Subterránea</i>	Biomasa (raíces, fauna)	Carbono del suelo (incluye turba)

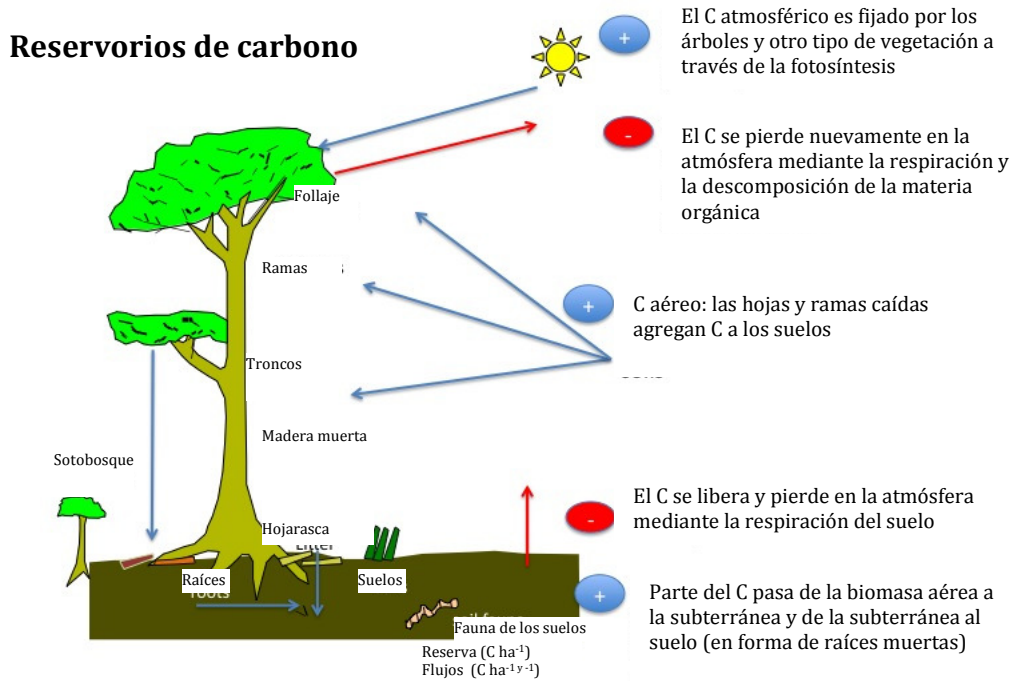


Figura 5-1 Reservorios terrestres de carbono

Fuente: Adaptado de Locatelli (2007) y EPA (2009), por Honorio y Velarde (2009).

Carbono de la biomasa de plantas vivas

9. La biomasa aérea abarca todos los troncos leñosos, ramas y hojas de árboles vivos, plantas rastreras, enredaderas y epífitas, así como las plantas del sotobosque y la vegetación herbácea. En el caso de los suelos agrícolas, incluye árboles (si hay), cultivos y maleza.

10. La biomasa subterránea abarca las raíces, la fauna del suelo y los microorganismos.

Carbono de la biomasa de plantas muertas

11. La materia orgánica muerta (es decir, la necromasa) incluye árboles caídos y tocones, otros desechos leñosos gruesos, la capa de hojarasca y el carbón vegetal (o materia orgánica parcialmente carbonizada) sobre la superficie del suelo. La reserva de carbono de la hojarasca en una selva tropical suele ser aproximadamente 5 tC /ha/año, con un periodo medio de permanencia en la capa de hojarasca de aproximadamente 1 año. Los árboles

muestran pueden tardar aproximadamente 10 años en descomponerse y la necromasa constituye aproximadamente el 10% del total de reserva de carbono aéreo en un bosque natural saludable. Debido a que la tala suele enfocarse en aprovechar los árboles más valiosos y dañar muchos otros, la necromasa puede constituir 30-40% de la reserva de carbono aérea luego de la tala. Si se utiliza fuego para realizar el desmonte, el carbono resultante se emitirá en forma directa o permanecerá por aproximadamente una década.

Carbono del suelo

12. El carbono del suelo abarca el carbono orgánico, el carbono inorgánico y el carbón vegetal. El bicarbonato, un tipo de carbono inorgánico, está presente en los suelos calcáreos pero es insignificante en los suelos neutros y ácidos. El principal tipo de carbono en el suelo se encuentra en diversas etapas de humificación, y los plazos de recambio llegan hasta cientos (o incluso miles) de años. En las turberas, los plazos de recambio pueden alcanzar los miles de años.

13. En los suelos minerales, el cambio en el carbono orgánico del suelo es relativamente pequeño y ocurre principalmente en los primeros 30 cm de la capa de suelo (IPCC, 1997). La concentración de carbono orgánico en los suelos generalmente disminuye con la profundidad y a mayor proporción de reservorios relativamente estables menor la concentración total de carbono. La respuesta más fuerte de la reserva de carbono en el suelo a los cambios en la cobertura terrestre ocurre en los primeros 20-30 cm. Sin embargo, los datos empíricos sólo suelen permitir detectar cambios en la capa de 0-5 cm de profundidad.

14. El cambio en el contenido de carbono del suelo debido a un cambio en el uso de la tierra no suele superar los 20 Mg de carbono por ha (IPCC, 1997; Murty y otros, 2002), excepto en condiciones de humedales. En condiciones climáticas específicas (por ejemplo, con un superávit de lluvias anuales pero una temporada seca prolongada en terreno llano con reservas de agua subterránea a grandes profundidades) los árboles con profundos sistemas de raíces son capaces de prolongar la época de crecimiento. Además, el intercambio en finas raíces en profundidad aumenta las reservas de carbono en el suelo en profundidades que pueden generar cambios en el carbono del suelo luego de una conversión superiores a 20 Mg de carbono por ha. Por ejemplo, cuando se convierten llanuras de *Imperata* en plantaciones de palma aceitera en suelo mineral, se puede esperar un incremento en la reserva de carbono del suelo de hasta $13,2 \pm 6,6$ Mg /ha respecto de una reserva inicial de $40,8 \pm 20,4$ Mg /ha (Agus y otros, 2009).

Recuadro 5-2 La mayor cantidad de biomasa se encuentra en los escasos árboles realmente grandes

La reserva de carbono en un árbol individual depende de su tamaño. Los árboles con troncos de 10-19 cm de diámetro (medido a una altura estándar de 1,3 m sobre el suelo, llamado “diámetro a la altura del pecho” o DAP), pueden tener una biomasa de aproximadamente 135 kg/árbol. Con aproximadamente 900 árboles por ha, la biomasa asociada correspondiente es de 121,5 t/ha. Aún así, la mayor cantidad de biomasa se encuentra en los escasos árboles realmente grandes. Con un DAP de 0-70 cm, la biomasa por árbol podría ser de aproximadamente 20.000kg (20 t). Con 10 árboles/ha, la correspondiente biomasa sería de aproximadamente 200 t/ha. La tabla que figura a continuación resume este ejemplo.

Por lo tanto, las implicancias de los grandes árboles en la biomasa (y en el carbono) por ha son muy significativas. Si bien la tala selectiva permite eliminar un número reducido de árboles por ha (y dañar los circundantes), la explotación forestal puede causar disminuciones sustanciales en el total de biomasa y reserva de carbono.

Ejemplos de composición de biomasa arbórea en una hectárea de bosque tropical

DAP (cm)	Kg/árbol	Nº de árboles/ha	Masa (t/ha)
10-19	135	900	121,5
20-29	2 250	70	157,5
30-49	8 500	20	170,0
50-70	20 000	10	200,0

Los reservorios de carbono prioritarios para la contabilización nacional

15. La decisión respecto de qué reservorios de carbono deben medirse como parte del sistema nacional o de contabilización del carbono y se determina mediante diversos factores como:

- Disponibilidad de recursos financieros
- Disponibilidad de datos existentes de buena calidad
- Facilidad y costo de la medición
- La magnitud de los cambios potenciales en los reservorios de carbono

16. Según la terminología de IPCC, el proceso de establecer reservorios de carbono prioritarios se denomina “análisis de categorías clave.” Las fuentes y sumideros principales de CO₂ se identifican en diversos niveles específicos de informe: Nivel 1 o datos de escala global para las categorías no clave (o categorías de menor prioridad) y Nivel 2 y 3 o escala/resolución más fina para las categorías clave. (IPCC, 2006, Vol 4, Capítulo 1.3.3)

17. Debido a que los cálculos de carbono a nivel nacional pueden ser incompletos y altamente inciertos, es preciso proceder de un modo **conservador** para aumentar la credibilidad de los cálculos (Grassi y otros, 2008). Un análisis conservador implica no

exagerar y/o minimizar el riesgo de exagerar los cálculos y de propagar errores. Por ejemplo, no incluir el carbono del suelo en la contabilización constituye un enfoque conservador. Si bien esto podría llevar a obtener una menor cantidad de créditos de REDD+, la inclusión del carbono del suelo podría disminuir la credibilidad de los cálculos de las reducciones totales de emisiones. (Para conocer detalles sobre la aplicación de este principio, consulte Grassi y otros, 2008.)

18. Dada la limitada cantidad de recursos, el trabajo de campo para calcular las reservas de carbono debe ser selectivo. Debe darse prioridad a los mayores reservorios de carbono con la mayor probabilidad de conversión/emisión. (Sírvese ver Capítulo 4 para mayor información sobre los factores que motivan la deforestación y la degradación). Por ejemplo, las áreas de bosques más vulnerables a los cambios suelen ser las de mayores costos de oportunidad, como los bosques junto a caminos.

19. La Tabla 5.1 resume las prioridades para medir diferentes reservorios de carbono junto con los métodos y costos relativos involucrados. En general, se sugiere otorgar la mayor prioridad a la biomasa arbórea y al carbono del suelo. La reserva de carbono de los cultivos agrícolas suele ser baja y puede obtenerse de la bibliografía. En el caso de las turberas, el mayor reservorio de carbono es la turba en sí misma, por lo que es muy recomendable medir su contenido de carbono.¹

Tabla 5-2 Prioridades y costos de medir el carbono por uso de la tierra

Reservorio de C	Método	Uso de la tierra					
		Bosque		Perenne		Cultivo anual	
		Costo	Priori.	Costo	Priori.	Costo	Priori.
Biomasa arbórea	<i>DAP y ecuaciones alométricas</i>	2	4	2	4		
Biomasa del sotobosque	<i>Muestras destructivas</i>	4	2	4	1		
Cultivo	<i>Literatura, datos secundarios</i>					2	3
Biomasa muerta	<i>No destructivo</i>	2	2	2	1		
Hojarasca	<i>Destructivo</i>	3	2	2	1		
C del suelo	<i>Destructivo: densidad y contenido de C</i>	4	3	4	3	4	3

Nota: Los valores mayores indican mayor prioridad (sombreado en verde) o mayor costo (sombreado en rojo). Ejemplo de Indonesia.

Fuente: Autores.

¹ Sin embargo, no está claro si las turberas se incluirán en REDD+ o cómo se lo hará.

Establecimiento de un marco de análisis sobre el carbono

20. La utilización de enfoques claros y simples para medir las reservas de carbono ayuda a lograr una contabilización nacional transparente. El enfoque simplificado aquí propuesto sirve para establecer una base de carbono para el análisis de los costos de oportunidad. Si bien es más directo, el enfoque no siempre coincide con los detallados métodos de cálculo de carbono establecidos en la *Guía de Buenas Prácticas* (GPG por sus siglas en inglés) de IPCC.² La GPG ofrece información sobre cómo proceder para clasificar, tomar muestras y recopilar datos para la contabilización nacional de las reservas de carbono y de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero asociadas con actividades de Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra (AFOLU). En general, todos los datos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- **Representatividad:** ser capaces de representar los sistemas de uso de la tierra/las categorías de cobertura terrestre y las conversiones entre sistemas de uso de la tierra/cobertura terrestre, necesarias para calcular cambios en las reservas de carbono y las emisiones y remociones de GEI;
- **Coherencia temporal:** ser capaces de representar los sistemas de uso de la tierra/las categorías de cobertura terrestre en forma coherente a lo largo del tiempo, sin verse indebidamente afectados por discontinuidades artificiales en los datos de series temporales;
- **Integridad:** se debe incluir toda la tierra dentro de un país, con aumentos en algunas áreas equilibrados por disminuciones en otras, reconociendo la estratificación biofísica de la tierra si es necesario (y en la medida en que pueda justificarse mediante los datos) para calcular e informar las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero; y
- **Transparencia:** las fuentes de datos, definiciones, metodologías y presunciones deben describirse con claridad.

Dos métodos para medir el carbono

21. Los cambios en las reservas promedio de carbono por cobertura terrestre pueden monitorearse utilizando diversos métodos que incluyen conjuntos de datos y cálculos secundarios de IPCC (2003b). Además, los países pueden realizar inventarios forestales y muestreos *in situ* utilizando parcelas permanentes para los usos de la tierra. Para medir los cambios en las reservas de carbono ocasionados por la degradación, IPCC (2006) recomienda dos opciones que no son mutuamente excluyentes (Figura 5.2):

- El método de diferencia entre reservas y
- El método de ganancia-pérdida

² Por ejemplo: (1) la utilización de un valor por defecto de 4:1 para el cociente raíz, (2) un factor de conversión de carbono de 0,46 para la biomasa viva, la necromasa y la materia orgánica del suelo.

22. El método de **diferencia entre reservas** utiliza los inventarios de reservas de carbono de usos d la tierra para calcular secuestros o emisiones. Las reservas de carbono en cada reservorio de carbono se calculan midiendo la reserva de biomasa existente al comienzo y al final de cada periodo de contabilización.

23. El método de **ganancia-pérdida** se basa en modelos de crecimiento entendiendo desde el aspecto ecológico el modo en que crecen los bosques y otros usos d la tierra, junto con información sobre procesos naturales y acciones del ser humano que ocasionan pérdidas de carbono. Las ganancias de biomasa se calculan con base en índices de crecimiento típicos en términos de incremento anual medio menos pérdidas de biomasa calculadas para actividades como explotación forestal, daño por tala, recolección de leña y de otros productos, sobrepastoreo e incendios (Murdyarso y otros, 2008). El costo de este método suele ser menor porque los reservorios de carbono se determinan por única vez al inicio y luego se generan modelos a través del tiempo.

A- Diferencia entre reservas

La diferencia entre las reservas de C da como resultado las emisiones de C

B- Ganancia-pérdida

Las emisiones de C se calculan restando la pérdida a la ganancia

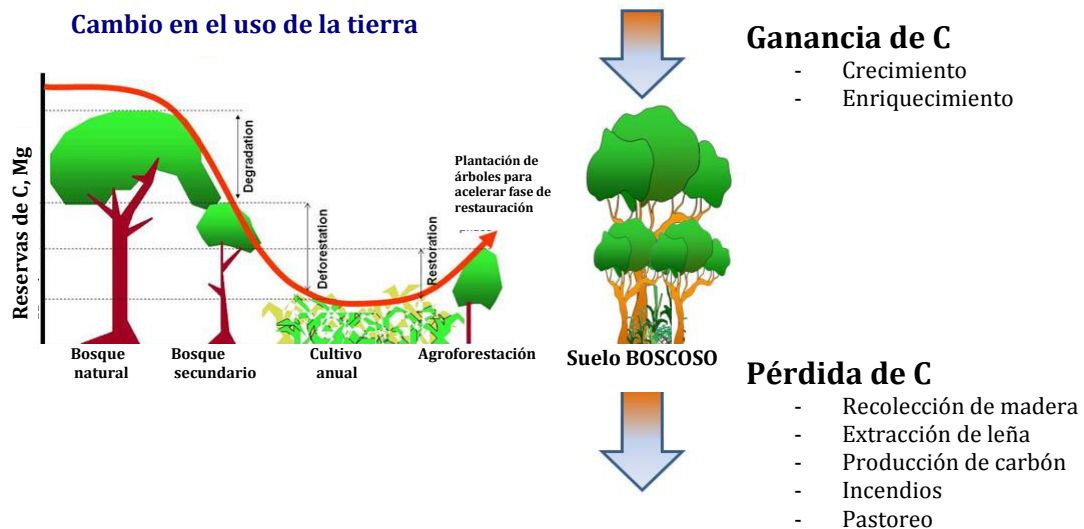


Figura 5-2 Comparación de los métodos de diferencia entre reservas y ganancia-pérdida

Fuente: Modificado de Murdyarso y otros, 2008

24. La elección del método de medición dependerá principalmente de los datos disponibles y de los recursos y capacidades para recopilar nuevos datos. Si el propósito es realizar una contabilización nacional del carbono, se puede utilizar una combinación de ambos métodos. Es necesario verificar que los métodos se apliquen en forma uniforme en caso de combinarlos.

25. El método de medición utilizado en este manual de capacitación es el de diferencia entre reservas, debido a que se necesita una única “reserva de carbono típica” de un sistema de uso de la tierra (t C/ha), para compararlo con un atributo económico típico (VPN) (US\$/ha) para calcular la proporción para cualquier tipo de cambio en el uso de la tierra.

Cálculo de la “reserva de carbono típica” de un uso de la tierra determinado

26. A los fines de un análisis de costos de oportunidad de REDD+, se necesita un valor de la reserva de carbono típica para cada uso de la tierra (en IPCC, 2000, se denominó **reserva promedio de carbono**). Este valor único se utiliza para contabilizar el carbono y se compara con un valor único de la rentabilidad calculada a valor presente neto (VPN). Un valor de reserva de carbono típico integra las ganancias y las pérdidas durante el ciclo de vida del uso de la tierra. A continuación se exponen (1) los pasos necesarios para determinar un sistema nacional de contabilización del carbono, (2) métodos para medir el carbono y (3) evaluación de la calidad de los datos sobre el carbono, procedimientos de muestreo y mediciones de campo de las reservas de carbono.

27. Para determinar la reserva de carbono típica se debe comenzar reconociendo el ciclo de vida del uso de la tierra (sírvase ver la Figura 5.3). La reserva de carbono “en promedio temporal” reconoce las dinámicas de los usos de la tierra (Palm y otros, 2005). Este método toma en cuenta un nuevo crecimiento y la tala de los árboles, y permite la comparación de usos de la tierra que tienen diferentes momentos y patrones de rotación de crecimiento y tala de árboles.

28. Para los usos de la tierra que están en equilibrio respecto de su edad (todas las edades son igualmente probables), el valor en promedio temporal también será el valor en promedio espacial, al aplicarlo a un paisaje lo suficientemente extenso. Dicho cálculo equivale a la suma de todas las ganancias y pérdidas de carbono. Para los sistemas de uso de la tierra cuya superficie está en crecimiento, el valor en promedio espacial será inferior al promedio temporal, y análogamente el valor en promedio espacial será superior al valor en promedio temporal para los sistemas que están en decrecimiento. Por lo tanto, la pérdida de carbono o el potencial de secuestro de un sistema de uso de la tierra **no** se determina por la reserva de carbono máxima del sistema en cualquier momento dado, sino por el promedio del carbono almacenado en dicho sistema de uso de la tierra durante su ciclo de vida (ASB, 1996). En el **Apéndice D** figuran los pasos específicos para calcular reservas de carbono en promedio temporal para sistemas de monocultivo y mixtos.

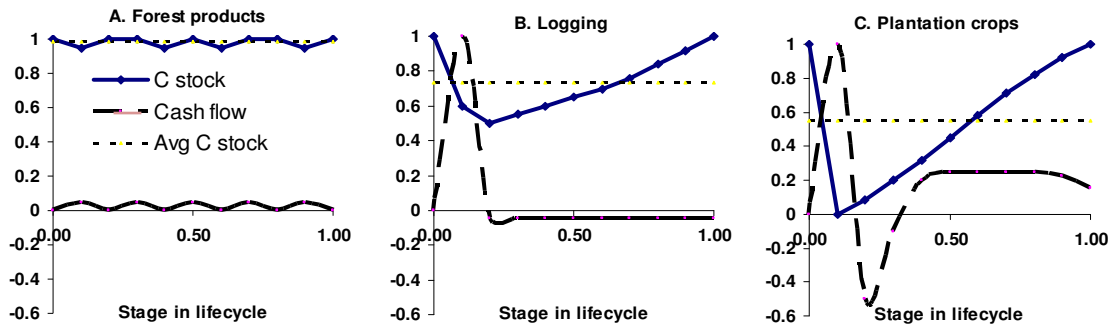


Figura 5-3 Reserva de carbono aérea y flujos de fondos de tres usos d la tierra

Reserva promedio de carbono de los sistemas agroforestales

29. En los sistemas agroforestales, donde los agricultores incorporan diversos árboles en los establecimientos agrícolas, las reservas de carbono se comportan de un modo diferente que en las tierras de cultivo o en los bosques manejados. Por ejemplo, los árboles en los sistemas agroforestales se talan con mayor frecuencia que bajo manejo forestal. Para calcular las reservas de carbono, resulta útil desarrollar cursos de tiempo anuales de las reservas de carbono. En la Figura 5.4, las líneas sólidas (más oscuras) representan las reservas de carbono anuales y las punteadas (más claras) representan las reservas de carbono en promedio temporal de: 230 tC/ha para bosque, 80 tC/ha para agroforestación y 29 tC/ha para cultivos anuales o llanuras de *imperata* de productividad en descenso.

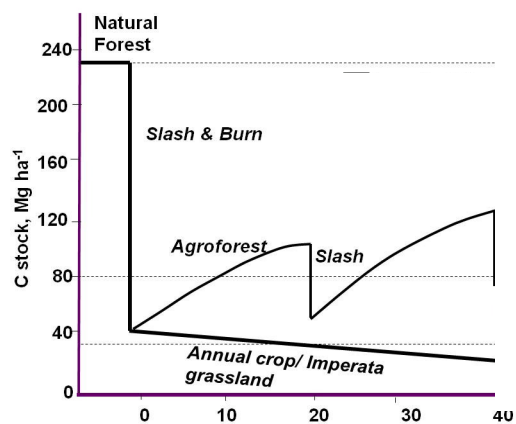


Figura 5-4 Ejemplo de cambios en las reservas de carbono de diferentes usos d la tierra

Fuente: IPCC/LULUCF-sección 4 (2000)

Contabilización de la degradación forestal

30. Incluso sin convertir bosques a otros usos, pueden producirse emisiones de carbono debido a la degradación forestal. La degradación forestal puede definirse como la *pérdida a largo plazo directamente inducida por el ser humano (que persista durante X años o más) de por lo menos Y por ciento de las reservas de carbono forestal (y valores forestales) desde el tiempo (T), que no califique como deforestación* (IPCC, 2003a). A pesar de esta definición, aún no se ha acordado el procedimiento operativo para monitorear, reportar y verificar (MRV) la degradación. Las medidas de X, Y y superficie mínima son difíciles de especificar porque los valores dependen de los tipos de actividades de degradación y de la composición del bosque (Murdiyarsa y otros, 2008).

31. Las actividades comunes que degradan los bosques en los trópicos son las siguientes (GOFC-GOLD, 2009):

- Tala selectiva
- Incendios forestales de gran escala y abiertos
- Recolección de leña y productos forestales no madereros
- Producción de carbón vegetal, pastoreo, incendios debajo de la cobertura forestal, rotación de cultivos

32. Aparte de la tala selectiva, se han realizado escasos análisis sobre el modo en que estos procesos inciden en la pérdida de biomasa forestal y el tiempo necesario para su nuevo crecimiento. Para calcular las reservas de carbono de los bosques en contextos de deforestación y degradación es necesario monitorear: (1) cambios en la superficie forestal por tipo de árbol (2) reservas de carbono promedio por unidad de superficie y tipo de bosque (IPCC 2003b). El análisis de Nivel 1 registra los cambios en la superficie dentro de las categorías de bosques y utiliza valores internacionales por defecto para las densidades de carbono de dichas categorías de bosques. En el Nivel 2, se aumentan la precisión y la exactitud calculando las densidades de carbono utilizando datos específicos del país en lugar de valores internacionales por defecto. El análisis de Nivel 3 utiliza modelos y sistemas de inventario para ajustar los cálculos a las circunstancias nacionales en forma reiterada a través del tiempo, midiendo de este modo los cambios en las densidades de carbono dentro del periodo de contabilización.

Tabla 5-3 Medición de la degradación forestal: métodos de diferencia entre reservas y ganancia-pérdida

<i>Actividad</i>	<i>Método de diferencia entre reservas</i>	<i>Método de ganancia-pérdida</i>
Tala selectiva	<ul style="list-style-type: none"> • La tala legal suele requerir la medición de la biomasa luego de la recolección, por lo que se debe contar con los datos necesarios. • La tala ilegal debería requerir recopilar datos adicionales. • En su lugar pueden utilizarse datos sobre bosques no perturbados si no se cuenta con datos previos a la tala para ciertos sitios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculos del incremento anual medio (IAM) de los usos y registros centralizados de actividades de extracción de madera. • La confiabilidad depende de la honestidad de las compañías madereras al informar los índices de extracción.
Incendios forestales de gran escala	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden utilizarse datos de referencia de bosques no perturbados para la situación anterior al incendio, pero será necesario un inventario forestal para medir la biomasa posterior al incendio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las pérdidas a causa de incendios pueden calcularse a partir de la superficie incendiada y pueden utilizarse los factores de emisión para calcular las emisiones conforme a la biomasa perdida.
Recolección de leña y de productos forestales no madereros	<ul style="list-style-type: none"> • Los niveles de biomasa anteriores a la recolección pueden calcularse utilizando valores típicos en bosques no perturbados, pero en la práctica gran parte de los bosques que son objeto de estos usos ya suelen encontrarse parcialmente degradados al inicio del periodo de contabilización. • En las áreas que ya se encuentran bajo la administración de individuos o de comunidades, los usuarios de los bosques pueden confeccionar inventarios forestales previos y posteriores al periodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden existir datos sobre las pérdidas (ej., registros de productos comerciales madereros, cálculos de uso de leña). • La extracción de leña también puede calcularse utilizando datos sobre la población y sobre el promedio de consumo domestico de leña. • Los datos sobre ganancia figuran en las estadísticas IAM estándar.
Pastoreo de ganado, rotación de cultivos, incendio debajo de la altura de la cobertura forestal	<ul style="list-style-type: none"> • Los niveles de biomasa anteriores a la recolección pueden calcularse utilizando valores típicos en bosques no perturbados, pero en la práctica gran parte de los bosques que son objeto de estos usos ya suelen encontrarse parcialmente degradados al inicio del periodo de contabilización. • Pueden realizarse mediciones respecto de la comunidad para ayudar a establecer la “apropiación” local del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los datos sobre ganancia figuran en las estadísticas IAM estándar. • Es difícil encontrar datos sobre pérdidas en las estadísticas nacionales.

Fuente: Murdiyaso y otros, 2008.

Diagnóstico de los datos existentes sobre carbono

33. Al recopilar o revisar los cálculos sobre reservas típicas de carbono de los usos de la tierra, es posible que diversos datos ya estén disponibles. Dicha información puede clasificarse conforme a los niveles de IPCC:

- *Nivel 1:* Datos de escala global (imágenes de teledetección).
- *Nivel 2:* Datos de escala nacional
 - Datos de inventarios forestales, generalmente referidos a los volúmenes de madera de especies de maderas comercialmente atractivas, aunque podrían incluir todos los árboles,
 - Datos primarios que pueden convertirse a cálculos de biomasa total,
- *Nivel 3:* Datos sobre la parcela/cuenca hidrográfica
 - Modelos bio-económicos de producción de biomasa bajo diversos regímenes de manejo, calibrados según los datos de biomasa a nivel de la parcela (usualmente disponible para los cultivos principales y algunos cultivos de plantaciones),
 - Datos ecológicos sobre parcelas de largo plazo que incluyen todos los reservorios de biomasa y necromasa.

34. Como ya se mencionó, el establecimiento de prioridades sobre reservorios de carbono o “análisis de categorías clave” toma en cuenta las fuentes y sumideros principales de carbono y los niveles de producción de informes asociados. Las categorías que no son clave o de prioridad inferior pueden informarse con los datos del Nivel 1 mientras que las categorías clave deben utilizar los Niveles 2 y 3 o datos de una escala/resolución de mejor calidad (IPCC, 2006, Vol. 4, Capítulo 1.3.3). Puede haber diversos tipos y calidades de datos sobre el carbono dentro de un país. Por lo tanto, se requiere de un diagnóstico de los datos nacionales sobre carbono disponibles para identificar vacíos de información y áreas de debilidad, garantizando la recopilación de nuevos datos.

35. Debido a que casi todos los tipos de teledetección dependen de mediciones terrestres de reservas de carbono, los esfuerzos para extrapolar espacialmente y analizar cambios temporales requieren que los datos sobre carbono se recopilen utilizando protocolos claros. La utilidad y el valor de cualquiera de estos datos depende de lo siguiente:

- Descripción adecuada del método utilizado al seleccionar las parcelas
- Integridad de los registros que permiten interpretar la parcela como parte de un sistema de uso de la tierra con periodo de tiempo e intensidad conocidos
- Representatividad del conjunto de parcelas para representar el dominio (ej, según variaciones climáticas, en la tierra y en la accesibilidad),
- Descripción adecuada del método utilizado en la medición, incluyendo el tamaño de la muestra o la intensidad de muestreo utilizada en muestreos “sin parcela”
- Viabilidad de los datos primarios y posibilidad de realizar cálculos adicionales.

36. Si alguna de estas cuestiones se viese afectada, los datos podrían resultar sospechosos para su utilización. Todos los puntos anteriores pueden como mínimo garantizar que el

programa de muestreo complete los faltantes y verifique las partes inciertas del conjunto de datos.

Medición del carbono de diferentes usos d la tierra

37. Una premisa básica de la *Guía de Buenas Prácticas* (GPG por sus siglas en inglés) del IPCC es que la tierra puede destinarse a una (y solo una) de las seis categorías expuestas abajo. Un uso de la tierra puede considerarse como una categoría de nivel superior para representar todos los usos similares d la tierra, y las subcategorías describen circunstancias especiales significativas para el contenido de carbono, si es que hay datos disponibles.³

38. Este supuesto de la GPG del IPCC respecto de categorías de suelo no ambiguas puede concordar con las tradiciones institucionales de algunos países, pero la premisa puede plantear dificultades. ¿A qué categoría pertenece un agro-bosque de caucho en una turbera? Tal uso de la tierra (1) cumple con la altura de árbol y cobertura de copa mínima de un bosque, pero se encuentra (2) en un humedal y (3) su producción se registra dentro de las estadísticas agrícolas. Por lo tanto, la consistencia de los métodos de contabilización para todas las categorías de suelo requiere entender bien dichas relaciones. Las categorías de suelo del IPCC son:

(i) *Suelo forestal*

39. Esta categoría incluye todos los suelos con vegetación leñosa, concordante con los parámetros utilizados para definir *Suelo Forestal* en el inventario nacional de gases de efecto invernadero. También incluye sistemas con una estructura de vegetación que actualmente se encuentra por debajo de dichos parámetros, pero *in situ* podría posiblemente alcanzar los parámetros utilizados por un país para definir la categoría de *Suelo Forestal*.

(ii) *Tierras agrícolas*

40. Esta categoría comprende las tierras para la agricultura, incluyendo los campos de cultivo de arroz, y sistemas agroforestales donde la estructura de la vegetación se encuentra (actualmente o potencialmente) por debajo de los parámetros utilizados para definir la categoría de *Suelo Forestal*.

(iii) *Pastizal*

41. Esta categoría incluye tierras de pasto y pasturas no consideradas *Tierras Agrícolas*. También incluye sistemas con vegetación leñosa y otra vegetación que no es pasto como las hierbas y los arbustos que quedan por debajo de los valores parámetro utilizados en la

³ Para el análisis de costos de oportunidad de REDD+, también se necesitan subcategorías para sistemas de uso de la tierra que generan diferentes niveles de rentabilidad.

categoría de *Suelo forestal*. La categoría incluye también todos los pastizales abarcando desde las tierras vírgenes hasta áreas recreativas, así como sistemas agrícolas y sistemas silvopastoriles, en congruencia con las definiciones nacionales.

(iv) Humedales

42. Esta categoría incluye áreas de extracción de turba y suelo cubierto o saturado de agua durante todo o parte del año (ej., turberas) y que no entra en las categorías de *Suelo forestal*, *Tierras agrícolas*, *Pastizales* o *Asentamientos*. Incluye los reservorios como una subdivisión administrada, y ríos y lagos naturales como subdivisiones no administradas.

(v) Asentamientos

43. Esta categoría incluye todos los suelos desarrollados, incluyendo transporte y asentamientos humanos de cualquier tamaño, salvo que ya estén incluidos en otras categorías. Debe guardar congruencia con las definiciones nacionales.

(vi) Otros suelos

44. Esta categoría incluye suelo desnudo, roca, hielo y todas las áreas de suelo que no corresponden a ninguna de las otras cuatro categorías. Permite que el total de áreas de suelo identificadas coincida con el área nacional, cuando hay datos disponibles. Si hay datos disponibles, se incentiva a los países a clasificar los suelos no manejados conforme a las categorías de uso de la tierra mencionadas anteriormente (ej., clasificarlos como Suelo Forestal no manejado, Pastizal no manejado y Humedales no manejados). De este modo, se mejorará la transparencia y se aumentará la capacidad de llevar un registro de las conversiones en el uso de los suelos desde tipos específicos de suelos no manejados hacia las categorías anteriormente mencionadas.

Recuadro 5-2 Almacenamiento de carbono fuera del sitio

Parte de la biomasa de los bosques, plantaciones forestales o cultivos anuales se remueve del campo e ingresa en los flujos comerciales económicos. Si bien se han realizado esfuerzos para asignar las reservas de carbono de dichos productos a sus áreas de origen (en especial en el caso de la madera), la integridad y la transparencia del sistema mundial de contabilización de carbono estarían en riesgo si debiesen realizarse dichos cálculos.

Las guías actuales del IPCC (2006) no incluyen los productos fuera del sitio como parte del sistema, si bien los cambios en las reservas del bosque pueden calcularse tomando la diferencia entre el incremento y la extracción de biomasa (ej., remociones, aprovechamientos), si existen datos confiables en ambos casos. La contabilización de las reservas de carbono se ve beneficiada por el simple hecho de que en cualquier momento se pueden inspeccionar todas las reservas en el lugar.

Muestreo y medición de la reserva de C

45. Una vez establecidas las prioridades de los reservorios de carbono que se pretende medir y definido el método de medición, el muestreo seguirá una serie de pautas respecto de:

- Esquema de muestreo, incluyendo estratificación (sírvese consultar el Capítulo 4 de este manual, Dewi y Ekadinata, 2008, y Winrock, 2008)
- Sistema jerárquico para la clasificación de usos d la tierra (sírvese consultar el Capítulo 4).

46. El Recuadro 5.4 expone una serie de pautas para obtener la cantidad de unidades de muestras necesarias. Es preciso tener en cuenta que el aumento del nivel deseado de precisión y exactitud tendrá impactos en los costos.

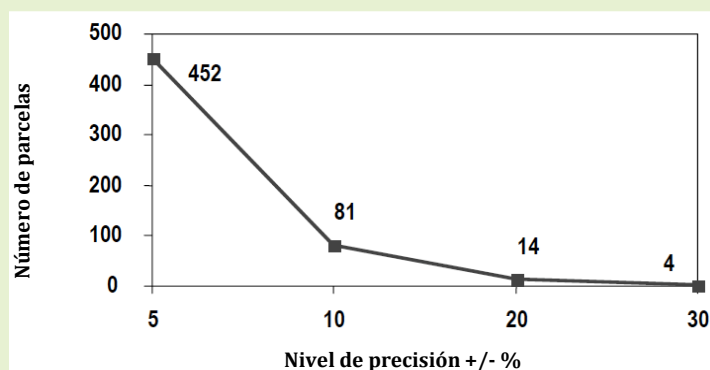
Recuadro 5-3 Pasos para determinar el número de parcelas de la muestra

Paso 1. Seleccionar el nivel deseado de exactitud y precisión

La selección del nivel de exactitud y precisión casi siempre se relaciona con los recursos disponibles y las exigencias del comprador (el mercado). El nivel de precisión requerido tendrá un efecto directo en los costos de inventario. En general, el nivel de precisión para proyectos forestales (error muestral) es +/-10% del valor de carbono promedio con un nivel de confianza del 95%. Los proyectos de silvicultura de pequeña escala del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) pueden utilizar un nivel de precisión de +/- 20% (Emmer, 2007). Sin embargo, se pueden definir niveles específicos de precisión para cada tipo de sistema de uso de la tierra del inventario. A mayor precisión mayores costos.

La siguiente figura expone la relación entre el número de parcelas y el nivel (grado) de precisión (+/- % de reserva de carbono total en biomasa viva y muerta) con un nivel de confianza del 95% para cuatro tipos de reservorios de carbono combinados (biomasa aérea y subterránea, hojarasca y materia orgánica d la tierra) presentes en seis categorías de vegetación del proyecto Noel Kempff en el bosque tropical de Bolivia.

Para lograr un nivel de precisión de +/-5%, se necesitaron 452 parcelas, mientras que sólo 81 parcelas proporcionarían un nivel de precisión de +/-10%. Este ejemplo demuestra las implicancias en términos de costo-beneficio de un mayor nivel de precisión.



Como se vio en el paso anterior, el nivel recomendado de exactitud es $\pm 10\%$ (0,1) de promedio pero puede ser de hasta $\pm 20\%$ (0,2).

t = muestra estadística de la distribución de t para un nivel de confianza del 95% (usualmente utilizado como un número de muestra)

N = número de parcelas en el área del estrato (área del estrato dividido por el tamaño de la parcela en ha)

s = desvío estándar del sistema de uso de la tierra

Fuente: Sección adaptada de Rugnitz y otros, 2009.

Herramientas en línea para calcular el número de parcelas: Winrock International ha desarrollado una herramienta en línea: “Winrock Terrestrial Sampling Calculator” que ayuda a calcular el número de muestras y los costos de estudios de línea de base y monitoreo.

Disponible en: <http://www.winrock.org/ecosystems/tools.asp>

47. Una vez calculado el número de unidades de muestreo, es necesario diseñar la muestra. La Figura 5.6 resume los tamaños recomendados de parcelas y subparcelas bajo cada unidad de muestreo.

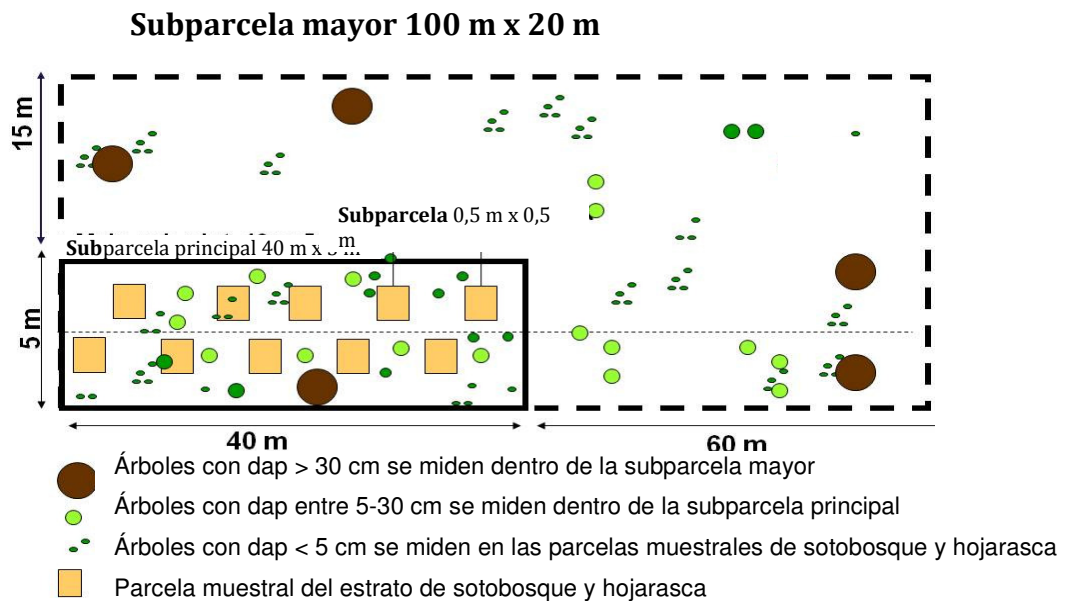


Figura 5-5 Tamaños recomendados de parcelas y subparcelas para muestreo de reservas de carbono

Fuente: Hairiah, y otros 2010.

Muestreo a nivel de parcela

Medir la reserva de carbono a nivel de parcela requiere evaluar:

- Biomasa
 - Muestreo destructivo de pequeñas parcelas de vegetación del sotobosque, cultivos anuales o pastos y
 - Cálculos de biomasa forestal no destructivos que utilicen ecuaciones alométricas de biomasa.
 - Valores por defecto para la biomasa subterránea (raíces).
- Necromasa
 - Destructivo (para los restos de hojarasca en la superficie de la tierra) o
 - No destructivo (para madera muerta).
- Materia orgánica de la tierra

48. Los procedimientos de medición de carbono de diversos reservorios se explican en detalle en Hairiah y otros, 2010 (en inglés), Rognitz y otros, 2009 (en español y portugués) y existen numerosos recursos más disponibles en GOF-C-GOLD (2009).

49. El reservorio de carbono más importante es la biomasa forestal. Para calcular las reservas de carbono de los árboles se debe conocer:

- El número total de árboles por ha,
- la distribución de su diámetro a la altura del pecho,
- dos parámetros que relacionen la biomasa con el diámetro del tronco (“alométricos”).

50. La dificultad está en los detalles. Es necesario 1) utilizar las ecuaciones alométricas correctas (y saber cuándo no utilizar las estándar) y (2) conocer las frecuencias de diámetros, en especial la de los árboles grandes. Utilizar ecuaciones alométricas extraídas de la bibliografía ayuda a simplificar los cálculos de reserva de carbono a nivel de paisaje. Es preciso seguir las pautas para elegir la/s ecuación/es alométricas correctas (Chave y otros 2005; sírvase consultar la Tabla 5.3 que incluye una descripción de los criterios). Si **no** se cumple con alguno de los criterios, se recomienda desarrollar ecuaciones alométricas locales. Si existen varias ecuaciones que cumplen con los criterios, se debe elegir la que tenga mayor valor de R^2 (sírvase consultar Rognitz y otros, 2009, p.51-59 para conocer el procedimiento detallado). El **Apéndice C** contiene una lista de las ecuaciones alométricas según especie y tipo de bosque.

Tabla 5-4 Criterios para elegir las ecuaciones alométricas

Criterio	Descripción
Condiciones del suelo y del clima	Condiciones climáticas similares del área muestral y del lugar para el cual se desarrolló la ecuación en términos de: - Temperatura media anual - Precipitación anual - Altitud Cuando sea posible, condiciones de suelo similares.
Especies cosechadas	Al menos 30% de las especies de bosques utilizadas en la ecuación están presentes en el área muestral
Tamaños de los árboles	Diámetro a la altura del pecho (DBH) y altura del árbol similares

Fuente: Adaptado de Rognitz y otros, 2009.

Recuadro 5-4 Grandes árboles, grandes raíces... pero no siempre es así

Los árboles grandes suelen tener raíces grandes. Para bosques tropicales mixtos, la proporción de biomasa aérea y subterránea es de aproximadamente 4:1. En condiciones muy húmedas, la proporción puede aumentar a 10:1; en condiciones secas puede caer a 1:1 (van Noordwijk y otros, 1996; Houghton y otros, 2001; Achard y otros, 2002; Ramankutty y otros, 2007). Debido a que no es simple medir la biomasa de las raíces (aunque existe un método que utiliza el diámetro de la raíz en la base del tronco y ecuaciones alométricas), se suelen utilizar supuestos por defecto para la relación parte aérea/raíz basadas en la bibliografía disponible (Cairns y otros, 1997; Mokany y otros, 2006).

De la parcela al uso de la tierra

51. Para calcular cambios en las reservas de carbono a nivel del paisaje, se necesitan datos sobre la reserva de carbono típica o reserva promedio de carbono de cada uso de la tierra, **no** la reserva de carbono de cada parcela bajo las condiciones actuales. Aquí, nos referiremos a la hoja de cálculo provista en este manual. La hoja de cálculo **OppCost** en [SpreadsheetexercisesREDDplusOppCosts.xlsm](#) relaciona las reservas de carbono para cambios en el uso de la tierra según la categoría de uso de la tierra. El **Apéndice D** incluye algunos ejemplos sobre cómo calcular reservas de carbono en promedio temporal para sistemas de monocultivo y otros. La Tabla 5.4 que figura a continuación expone valores estimados de reservas de carbono en promedio temporal de los sistemas de uso de la tierra seleccionados de diversos países.

Tabla 5-5 Reserva promedio de carbono (media y rango) de usos d la tierra seleccionados

Uso de la tierra	Reserva promedio de carbono, Mg /ha	Referencia, comentarios
Bosque primario (Indonesia)	300 (207-405)	Palm y otros, 1999
Bosque talado en forma selectiva (Kalimantan Central, Indonesia)	132	Brearily y otros, 2004
Rotación de arbusto/cultivo	15	Prasetyo y otros (2000)
Llanura de Imperata	2	Palm y otros (2004)
Palma aceitera(Indonesia)	60	Recalculado de Rogi (2002)
Palma aceitera (Indonesia)	40	Datos recientes de ICRAF-Indonesia
Agrobosque de caucho, 25 años de edad (Sumatra, Indonesia)	68	Promedio basado en Palm y otros (2004)
Agrobosque de caucho, 40 años de edad (Kalimantan Este, Indonesia)	100	Rahayu y otros, 2004
Plantación de coco	60	Ajustado de 98 Mg ha ⁻¹ conforme a IPCC (2006) basado en Rogi (2002)
Plantación de Jatropha	10	June (2008) basado en Niklas (1994)
Plantación de té	28	Adaptado de Kamau y otros (2008)
Caña de azúcar	9	Soejono 2004, modificado
Sistema agroforestal basado en el café	51	Hairiah (2007, para café de sombra)
Cacao	58	Lasco y otros (2002)

De uso de la tierra a la región subnacional

52. Una vez obtenida la reserva promedio de carbono por sistema de uso de la tierra, se debe calcular/estimar el carbono en promedio temporal de cada cobertura terrestre para extrapolarlo a nivel de paisaje. Por ejemplo, en la Figura 5.6, la cobertura terrestre de “Plantación” abarca cinco usos d la tierra diferentes (pino, agathis, caoba, clavo de olor y bambú). Debido a que no es posible distinguir estos usos d la tierra a nivel de la cobertura terrestre (y la reserva promedio de carbono tiene una variación/desviación relativamente pequeña), se calcula un promedio para la cobertura terrestre.

53. Una vez calculadas las reservas de carbono en promedio temporal por cobertura terrestre, se las debe extrapolar multiplicando la superficie en el paisaje bajo análisis en el año “y” utilizando los resultados de un análisis SIG. Luego se debe repetir el procedimiento en el mapa del año y+10, y luego se calcula la diferencia en las reservas de carbono.

Land cover	LUS	Plant density per ha	Total C stock, Mg ha ⁻¹	Max. Age, year	Time Avg. C Stock, Mg ha ⁻¹	
1. Forest	Degraded Forest	2248	161	50	161	161
2. Agroforestry	AF_Multistrata	3970	123	30	111	111
3. Plantation	AF_Simple	4018	99	30		
	Pinus	795	183	30	144	139
	Agathis		190	40	146	
	Mahogany	963	198	50	212	
	Clove		142	35	70	
Bamboo	3188	159	15	121		
4. Grassland	Napier grass, 4 months	-	100	0.25	11	11
	Napier grass, 1 month	-	78			
5. Annual crop	Vegetables	-	79	0.25	1.5	1.5

Pennisetum purpureum (Rumput Gajah=napier grass)

Figura 5-6 Extrapolación de carbono de los usos d la tierra a las coberturas terrestres a nivel del paisaje

Fuente: Hairiah y otros, 2010.

De región subnacional a nación

54. Para llevar los cálculos de carbono desde el nivel de paisaje a niveles subnacionales y nacionales es necesario el trabajo conjunto de diversos organismos gubernamentales, ONG y otras instituciones. A nivel nacional, los datos disponibles normalmente corresponden al nivel de cobertura terrestre. La disponibilidad de conjuntos de datos nacionales espaciales específicos difiere según el país y la información suele encontrarse distribuida entre diversos Ministerios (Agricultura, Pesca, Medio Ambiente, Minería y Energía) u organismos gubernamentales especializados.

55. Dentro de los países, las diferentes regiones con condiciones similares en general ya suelen estar identificadas con condiciones climáticas, orográficas o flora. Estas clases diferentes deben utilizarse como base para el proceso de estratificación dentro del esquema de muestreo (Recuadro 5.4) y para el desarrollo de un mapa de usos d la tierra. Es probable que dicha información sea suficiente para diferenciar espacialmente regiones con contenido de carbono similar, especialmente bosques. Sin embargo, dicho enfoque tiene algunas desventajas derivadas de:

- Errores en la clasificación de los píxeles en clases de cobertura terrestre
- Incertidumbre sobre los valores de reserva de carbono por clase
- Cambios en el carbono a través del tiempo

56. Las imprecisiones e incertidumbres en los datos de inventarios forestales pueden ocasionar hasta una diferencia de miles de millones de toneladas en la reserva global de carbono de los árboles. Los errores pueden radicar en la superficie del bosque, el volumen

de madera por superficie, la biomasa por volumen de madera y la concentración de carbono. Debido a que los factores se multiplican en forma conjunta para calcular la reserva de carbono, una medición más precisa de la variable más segura mejora en cierta medida la precisión. Un error del 10% en la biomasa por hectárea, por ejemplo, puede ocasionar una discrepancia equivalente a un error de medición de la superficie del bosque por millones de hectáreas. Por lo tanto, un muestreo no sesgado de los bosques regionales es de suma importancia para lograr un monitoreo preciso de los bosques globales (Waggoner, 2009).

57. Desde la perspectiva de un análisis de costos de oportunidad, las categorías de usos de la tierra son clave para identificar y cuantificar los diferentes usos de la tierra a nivel de paisaje y nacional. Cada uso de la tierra debe tener su correspondiente contenido de carbono. Al calcular y comparar las diferencias entre los contenidos de carbono de diversos usos de la tierra en el año “y” y en el año y+5, y+10 o los intervalos definidos, se podrán calcular los cambios en las reservas de carbono. Sin embargo, ya sea que se utilicen datos de Nivel 2 o Nivel 3, el enfoque tiene desventajas derivadas de:

- Errores en la clasificación espacial por tipos de uso de la tierra, combinando “fases de la cobertura terrestre” con características de la tierra y estilos de administración
- Incertidumbre sobre los cambios en las reservas de carbono en promedio temporal dentro de las categorías de uso de la tierra

Elaboración de un sistema de monitoreo nacional

58. La CMNUCC ha definido elementos y capacidades clave para elaborar sistemas nacionales de monitoreo de carbono para REDD+ así como los componentes y capacidades requeridos para establecer un sistema nacional de monitoreo para calcular las emisiones y las remociones de los bosques. Estos elementos clave incluyen:

- Ser parte de una estrategia o plan de implementación de REDD+,
- Mediciones sistemáticas y reiteradas de todos los cambios relevantes en las reservas de carbono relacionadas con bosques,
- Cálculo e informe de las emisiones y remociones de carbono a nivel nacional utilizando las metodologías contenidas en la guía de buenas prácticas de IPCC para LULUCF o bien de un modo compatible con dichas metodologías, dada la transparencia, uniformidad, compatibilidad y precisión que debe caracterizar dichos sistemas.

59. Los componentes clave y capacidades necesarias para establecer un sistema nacional de monitoreo de emisiones y remociones de bosques se encuentran explicados en CMNUCC, 2009, páginas 8-10 e incluyen:

- Planificación y diseño

- Recopilación de datos y monitoreo
- Análisis de los datos
- Niveles de emisión de referencia
- Informes

60. El **Apéndice B** contiene una tabla que resume las capacidades necesarias para elaborar un sistema nacional de monitoreo de emisiones.

61. A una escala más precisa, la recopilación de datos (Nivel 3) debe sortear dificultades tanto en cuanto a los datos recopilados por los “profesionales forestales” como a los recopilados por los miembros de las comunidades. Los responsables de la recopilación de datos primarios deben implementar medidas de control de calidad que identifiquen valores atípicos y resultados inesperados. Los resultados inesperados pueden constituir una oportunidad de aprendizaje si se los confirma mediante una doble verificación. Sin embargo, los resultados “participativos” imprecisos pueden sesgar los resultados generales si se los conserva en el conjunto de datos.

Una base de datos del carbono forestal

62. Cada vez hay más datos disponibles sobre el carbono. Se está desarrollando una Base de Datos del Carbono Forestal y un sistema de intercambio de acceso público (CIFOR, 2010; Kurnianto y Murdiyarsa, 2010). La base de datos es útil para las actividades de monitoreo, elaboración de reportes y verificación nacional y subnacional de REDD+. La base de datos de acceso libre está diseñada para permitir la participación de investigadores y profesionales, que realizan inventarios forestales habituales, manejan parcelas muestrales y realizan investigaciones sobre las reservas forestales y temas relacionados.

63. El sistema permite la contabilización de los cinco reservorios de carbono. También puede agregarse información complementaria (ej., detalles del sitio, cobertura terrestre, clima y suelo) que proporcione un contexto de los datos sobre la reserva de carbono. Si se carga todo el inventario de datos, la reserva de carbono se calculará en forma automática, por factor que reconoce el factor de ecosistema (ej., lluvias, temperatura). El sistema:

- Reduce la recopilación de datos duplicados permitiendo el acceso a datos que ya han sido recopilados, reduciendo de este modo los costos.
- Ofrece un fácil acceso a datos que no pueden replicarse directamente, como grandes investigaciones cuya réplica sería muy costosa.
- Permite comparar las reservas de carbono de diferentes tipos de uso de la tierra en base a datos aportados por otros.

Cálculo de los costos de medición del carbono y de la construcción de capacidades

64. Elaborar un inventario de reservas de carbono nacional o subnacional es una tarea costosa que requiere tiempo. Si bien numerosos países acostumbran a realizar inventarios forestales, la contabilización del carbono es un paso más. La contabilización del carbono fuera del bosque o en sistemas mixtos de uso de la tierra también aumenta la complejidad de la tarea. Por lo tanto, uno de los costos iniciales principales de la medición del carbono enfrentado por algunos países es el desarrollo de la capacidad de sus profesionales.

65. Debido al alto y cambiante contenido de carbono de los bosques y la posibilidad de incurrir en mediciones imprecisas, se están realizando numerosos esfuerzos para mejorar la eficacia en relación con el costo de los inventarios y las investigaciones de campo. La estratificación de los bosques según su reserva de carbono (ej. afectada por la extracción de madera), no necesariamente según el tipo de bosque, puede reducir la incertidumbre y los costos (Brown, 2008)

66. En el corto plazo, la construcción de capacidades es deseable a nivel nacional/subnacional. En el mediano a largo plazo, pueden aplicarse algunos métodos para lograr eficacia en términos de costos, por ejemplo: celebrar alianzas institucionales, involucrar a las comunidades e incluir temas específicos sobre la medición del carbono y prácticas de campo en los programas de educación [terciaria] y, principalmente, utilizar las capacidades nacionales disponibles. En algunos casos los guardabosques, biólogos, ecologistas, etc., pueden transmitir algunas habilidades básicas sobre medición del carbono a las comunidades que viven en los bosques y en los márgenes de los bosques. Este método incentiva la participación de las comunidades locales y disminuye los costos en el largo plazo.

67. La Tabla 5.5 resume los costos relativos de utilizar datos de diferente resolución, las capacidades a utilizar y las capacidades requeridas. Si bien la participación de organizaciones internacionales también genera costos mayores, es posible transmitir capacidades a los niveles nacional y local a través de convenios y alianzas para lograr disminuir los costos. Los costos iniciales suelen ser mayores que los costos de mantenimiento y aumento de las capacidades.

68. Los costos difieren dependiendo del país y de la cantidad de información faltante. A continuación figuran los costos estimados de equipos y personal para muestreo de biomasa aérea en Colombia (Tabla 5.6) y un inventario forestal nacional en la India (Tabla 5.7). El costo promedio de evaluar la cobertura forestal y los cambios por unidad de superficie en la India es US\$ 0,60 por km². El costo por unidad se calcula con base en la cobertura forestal total del país, que se estima en 677.088 km².

Tabla 5-6 Costos relativos de elaborar un inventario nacional de contabilización del carbono

Concepto	Escala		
	Nivel 1: cálculos globales	Nivel 2: datos nacionales disponibles	Nivel 3: Datos sobre parcela/cuenca hidrográfica
Costo relativo	Libre acceso en línea pero se necesita conocimiento experto para interpretar los datos \$	No son de libre acceso y se encuentran distribuidos en la mayoría de los casos. Los costos se relacionan principalmente con los trámites para obtener los datos \$\$	Normalmente sólo disponibles a pequeña escala o muy específicos y no son de libre acceso o es necesario recopilar datos propios. Las fuentes de estos datos son las instituciones o gobiernos locales o regionales \$\$\$
Capacidades utilizadas	Expertos internacionales	Expertos nacionales	Expertos locales
Costos relativos	Personal de organizaciones internacionales (Banco Mundial, ONU, ONG, etc) con acceso directo a los gobiernos, generalmente involucrados en el inicio del proceso \$\$\$\$	Personal de organismos gubernamentales nacionales y ONG locales, instituciones educativas generalmente ubicadas en las ciudades, que establecen las normas/políticas nacionales locales \$\$	Expertos locales, (por ej., universidades y comunidades ubicadas en bosques tropicales). Algunos han realizado alianzas con expertos locales u otros expertos nacionales \$-\$
Capacidades requeridas para MRV	Implementación	Mantenimiento	Mejora
Costos relativos	La implementación inicial varía según la capacidad actual del país \$\$\$	Actualización e implementación de sistemas de garantía y control de calidad \$\$	Capacitación especializada, participación en conferencias internacionales o acceso a estándares internacionales \$\$-\$\$\$

Fuente: autores

Tabla 5-7 Equipos y personal para muestreo de biomasa aérea en Colombia

Actividad	Equipos	Personal	Tiempo (*por parcela, **por árbol
Muestreo de vegetación no arbórea	1 GPS Cuerda de nylon de 5 m 3 machetes 1 balanza de 25 kg o más 1 balanza de 1 a 5 kg con precisión de 0,1 g Bolsas plásticas, marcadores, lápices, formularios	3 personas	40 - 60 minutos*
Inventario forestal	1 GPS 1 cinta de 50 metros 1 hipsómetro 3 machetes 1 poste de madera de 2m de longitud (puede obtenerse en el campo) Cuerda de nylon de 30 m Marcadores, lápices, formularios	3 personas	120-150 minutos*
Árboles y plantas	1 motosierra 1 cinta metálica 4 machetes 1 balanza de 50 kg o más 1 balanza con capacidad de 1 a 5 kg y precisión de 0,1 g Bolsas plásticas, marcadores, lápices, formularios	4 personas	1-5 horas**

* La cantidad de parcelas trabajadas en un día dependerá del tiempo de transporte dentro de los puntos de muestra.

** El tiempo depende del tamaño (y dureza) del árbol.

Fuente: *Carbono y Bosques, 2005, citado en Rognitz, y otros 2009.*

Tabla 5-8 Costo de medición de la cobertura forestal y cambios utilizando imágenes satelitales en la India

Componentes	Costo por 100 km² (US\$)	%
Recursos humanos (costo de interpretación de datos por parte de técnicos, supervisión y verificación por parte de profesionales y verificación de campo)	38,5	64
Costo de los datos satelitales (IRS.P6- LISS III de 23,5 x 23,5 m)*	6,5	11
Equipos (costo del hardware/software con una vida útil estimada en 5 años más mantenimiento diario, instalación de aire acondicionado, red, etc.)	15,0	25
<i>Total</i>	<i>60,0</i>	<i>100</i>

*El tipo de cambio utilizado es 1 US\$ = 50 Rupia. En total, 393 escenas satelitales utilizando IRS P-6 LISS III cubren todo el país. La superficie de cada escena es aprox. 20.000 km².

Fuente: CMNUCC, 2009.

Prioridades de medición según las condiciones del bosque

69. El costo de medir y monitorear la degradación depende de las circunstancias nacionales, que incluyen los siguientes factores:

- Superficie de la cobertura forestal
- Estratificación del bosque (ej., La República Democrática del Congo tiene un tipo de bosque principal, mientras que Indonesia y México tienen cuatro o más)
- Nivel de contabilización del carbono

Referencias y lectura complementaria

- Achard, F, Eva HD, Stibig H-J and Mayaux P, Gallego J, Richards T and Malingreau J-P, 2002. Determination of deforestation rates of the world's human tropical forests. *Science* 297: 999-1002.
- Agus, F., I.G.M. Subiksa, 2008. *Lahan Gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan (Peatland: Potential for agriculture and the environmental aspects)*. Instituto Indonesio de Estudio d la tierra y Centro Mundial para la Agroforestación, Bogor. 36p.
- Agus F, Runtunuwu E, June T, Susanti E, Komara H, Las I, van Noordwijk M. 2009. Carbon budget in land use transitions to plantation. *Indonesian Journal of Agricultural Research and Development* (En imprenta).
- Angelsen, A. 2007. *Forest cover change in space and time: combining von Thünen and the forest transition*. Documento de Trabajo de Investigación de la Política del Banco Mundial. WPS 4117. Banco Mundial, Washington D.C.
- Brearily, F. Q., Prajadinata, S., Kidd, P. S., Proctor, J. dan Suriantata. 2004. Structure and Floristics of an old secondary rainforests in Central Kalimantan, Indonesia and a comparison with adjacent primary forest. *Forest Ecology and Management*, 195: 385-397.
- Brown, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. Documento sobre Silvicultura de la FAO 134. FAO: Roma.
<http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm#Contents>
- Brown, S. 2008. *Assessment of the Advantages and Limitations of Ground-Based Surveys and Inventories*. Taller de la CMNUCC sobre Cuestiones Metodológicas relacionadas con REDD en los Países en Desarrollo, junio 25-27. Tokio, Japón.
http://unfccc.int/files/methods_and_science/lulucf/application/pdf/080625_tokyo_brown.pdf
- Cairns M A, Brown S, Helmer E H y Bumgardner G A,1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111: 1-11.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M.A. Cairns, J.Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra, T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145(1):87-99.
- CIFOR, 2010. CarboFor: sitio de internet Carbon Forestry de CIFOR.
<http://www.cifor.cgiar.org/carbofor/>
- Couwenberg J., Dommain R. & H. Joosten (2009). Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in Southeast Asia. *Global Change Biology*, 16: 1715-1732.
- Dewi, S., Ekadinata, A., 2008. *Ground-truthing protocol*. Landscape Mosaics. Plataforma de Biodiversidad de CIFOR-ICRAF
- Emmer, I. 2007. Manual de contabilidad de carbono y diseño de proyectos. Proyecto Encofor. Quito, Ecuador. 22p www.joanneum.at/encofor

Agencia de Protección Ambiental (EPA), 2010. *Carbon sequestration in agriculture and forestry*. Disponible en línea en: <http://www.epa.gov/sequestration/science.html> (Última actualización el 26 de junio de 2010)

Germer, J., y J. Sauerborn. 2008. Estimation of the impact of oilpalm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environmental Development and Sustainability* 10:697-716.

Gibbs, H.K., Brown, S., Niles J.O. y Foley J.A., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD+ a reality. *Environ. Res. Lett.* 2 045023 (13pp).

GOFC-GOLD. 2009. *Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: A sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting, GOFC-GOLD Report version COP14-2*, (Oficina del Proyecto GOFC-GOLD, Recursos Naturales Canadá, Alberta, Canadá).

Grassi, G. S. Monni, S. Federici, F. Achard, D. Mollicone. 2008. *Applying the conservativeness principle to REDD to deal with the uncertainties of the estimates*. *Environ. Res. Lett.* 3 (2008) 035005 (12pp) doi:10.1088/1748-9326/3/3/035005

Hairiah, K., S. Rahayu. 2007. *Petunjuk praktis Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan*. Centro Mundial para la Agroforestación, ICRAF sudeste Asiático, ISBN 979-3198-35-4. 77p

Hairiah K, Dewi S, Agus F, van Noordwijk M, Rahayu S, Velarde SJ. 2010. *Measuring Carbon Stocks Across Land Use Systems: A Manual*. Bogor, Indonesia. Centro Mundial para la Agroforestación (ICRAF), Oficina Regional de SEA, Universidad de Brawijaya y ICALRRD (Centro Indonesio para el Estudio y Desarrollo de los Recursos de los Suelos Agrícolas) en www.worldagroforestrycentre.or/sea.

Houghton R A, Lawrence KT, Hackler JL y Brown S, 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Glob.Change Biol.* 7:731-746.

IPCC1997. *IPCC Guidance for Green House Gas Inventories – Cuadernillo de Trabajo (Volumen 2) Actualizado en 1996*. <http://www.ipcc.ch>

IPCC. 2000. *Land Use, Land-Use Change and Forestry. A Special Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 377pp.

IPCC2003a. *Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types*. En: Penman, J., Gytarsky, M., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (eds.) IPCC-IGES, Kanagawa. Japón.

IPCC 2003b. *Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry*. En: Penman, J., Gytarsky, M., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner F. (eds.) IPCC-IGES, Kanagawa. Japón.

IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Preparado por el Programa de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, Eggleston H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. y Tanabe, K. (eds.). Publicado por IGES Japón.

- Jaenicke, J., J.O. Rieley, C. Mott, P. Kimman, F. Siegert (2008). Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands. *Geoderma* 147: 151–158
- Jauhiainen, J, Vasander H, Jaya A, Takashi I, Heikkinen J, Martikinen P. 2004. Carbon balance in managed tropical peat in Central Kalimantan, Indonesia. En: *Wise Use of Peatlands*, Procedimientos del 12° Congreso Internacional sobre Turberas, 6-11 de junio, Tampere, volumen 1, Päivänen, J. (ed.), International Peat Society, Jyväskylä, pp. 653-659.
- Joosten, H. 2007. Peatland and carbon. pp. 99-117 En. Parish, F., Siri, A., Chapman, D., Joosten H., Minayeva, T., y Silvius M (eds.) *Assessment on Peatland, Biodiversity and Climate Change*. Global Environmental Centre, Kuala Lumpur y Wetland International, Wageningen.
- June, T., Wahyudi A, Runtunuwu E, Syahbuddin H, Sugiarto Y, Hastuti S, Wihendar TN, Nugroho WT. 2008. *Potensi Serapan Karbon Jarak Pagar (Jatropha curcas, L) untuk Pengembangan Clean Development Mechanisme (CDM) Tanaman Perkebunan*. Laporan Tengah Tahun KKP3T. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 16 p.
- Kamau, D. M., J. H. J. Spiertz y O. Oenema. 2008. Carbon and nutrient stocks of tea plantations differing in age, genotype and plant population density. *Plant Soil* 307:29–39
- Kurnianto, S. y Murdiyarso, D. 2010 *Forest carbon database: a Web-based carbon stock data repository and exchange system*. CIFOR, Bogor, Indonesia. 16p.
- Lasco, R. D. 2002. Forests carbon budgets in Southeast Asia following harvesting and land cover change. *Science in China* (serie C), Vol. 45 : 55-64.
- Locatelli, B. 2007. Diapositiva de reservorios de carbono. MSc course SA 507, CATIE.
- Maltby E, Immirzi, P. 1993. Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils. Regional and global perspectives. *Chemosphere* 27(6), 999–1023.
- Melling L, Hatano R, Goh KJ. 2005. Soil CO₂ flux from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia, *Tellus* (2005), 57B, 1–11.
- Mokany K, Raison J R, y Prokushkin AS, 2006. Critical analysis of root-shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biolology* 12: 84-96.
- Murdiyarso, D., M. Skutsch, M. Guariguata, M. Kanninen, C. Luttrell, P. Verweij, O. Stella. 2008. Measuring and monitoring forest degradation for REDD: Implications of country circumstances. CIFOR Infobrief. No.16, Noviembre.
http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/Infobrief/016-infobrief.pdf
- Niklas, K.J., 1994. *Plant Allometry, the Scaling of Form and Process*. Editorial de la Universidad de Chicago, Chicago, 365 pp.
- Palm, C., T. Tomich, M. van Noordwijk, S. Vosti, J. Gockowski, J. Alegre and L. Verchot. 2004. Mitigating GHG emissions in the humid tropics: Case studies from the Alternatives to Slash-and-Burn Program (ASB). *Environment, Development and Sustainability* 6: 145–162.
- Palm, C.A., M. van Noordwijk, P.L. Woomeer, J. Alegre, L. Arevalo, C. Castilla, D.G. Cordeiro, B. Feigl, K. Hairiah, J. Koto Same, A. Mendes, A. Moukam, D. Murdyarso, R. Nyomgamg, W.J. Parton, A. Ricse, V. Rodrigues, S.M. Sitompul, 2005. Carbon losses and sequestration with land use change in the humid tropics. En: C.A. Palm, S. Vosti, P.A. Sanchez and P.J. Ericksen (eds.) *Slash- and -Burn Agriculture, the search for alternatives*. p. 41-62.

Pearson, T., S. Walker, S. Brown, 2005. *Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects*. Winrock International.

Prasetyo, L. B., G. Saito, H. Tsuruta. 2000. *Development of database for ecosystem changes and emissions changes of GHG using remote sensing and GIS in Sumatera Island, Indonesia* <http://www.gisdevelopment.net/acrs/2000/ts11/glc002pf.htm>

Ramankutty N, Gibbs H K, Achard F, DeFries R, Foley J A, Houghton RA, 2007. *Glob.Change Biol.* 13:51-66

Rogi, J. E. X., 2002. *Penyusunan model simulasi dinamika nitrogen pertanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis, Jacq.) di unit Usaha Bekri Propinsi Lampung*. Disertación. Universidad Agrícola de Bogor.

Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. 2009. *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. 1. ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.

Tomich, T.P., M. Van Noordwijk, S Budidarsono, A. Gillison, T. Kusumanto, D. Mudiyarso, F. Stolle and A.M. Fagi, 1998. *Alternatives to Slash-and-Burn in Indonesia. Summary Report & Synthesis of Phase II*. ASB-Indonesia and ICRAF-S.E. Asia.

CMNUCC, 2009. *Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks and greenhouse gas emissions from changes in forest cover, and the enhancement of forest carbon stocks*. Documento técnico (FCCC/TP/2009/1). En línea.

van Noordwijk M., G. Lawson, A. Soumaré, J.J.R. Groot, K. Hairiah. 1996. Root distribution of trees and crops: Competition and/or complementary. En: Chin Ong and Peter Huxley (eds.) *Tree-Crop interactions - a physiological approach*. CABI - ICRAF. p 319-364.

Verchot, L. V., M. van Noordwijk, S. Kandji, T.P. Tomich, C. Ong, A. Albrecht, J. Mackensen, C. Bantilan, K. V. Anupama, C. Palm, 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitig Adapt Strat Glob Change*.

Waggoner, P. 2009. Forest Inventories: Discrepancies and Uncertainties. Documento de discusión RFF DP 09-29. Resources for the Future. Washington, D.C.

Winrock International, 2008. *Winrock Terrestrial Sampling Calculator*. Hoja de cálculo en línea. Disponible en: <http://www.winrock.org/ecosystems/tools.asp>

Wösten JHM, Ismail AB, van Wijk ALM. 1997. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. *Geoderma* 78:25-36.