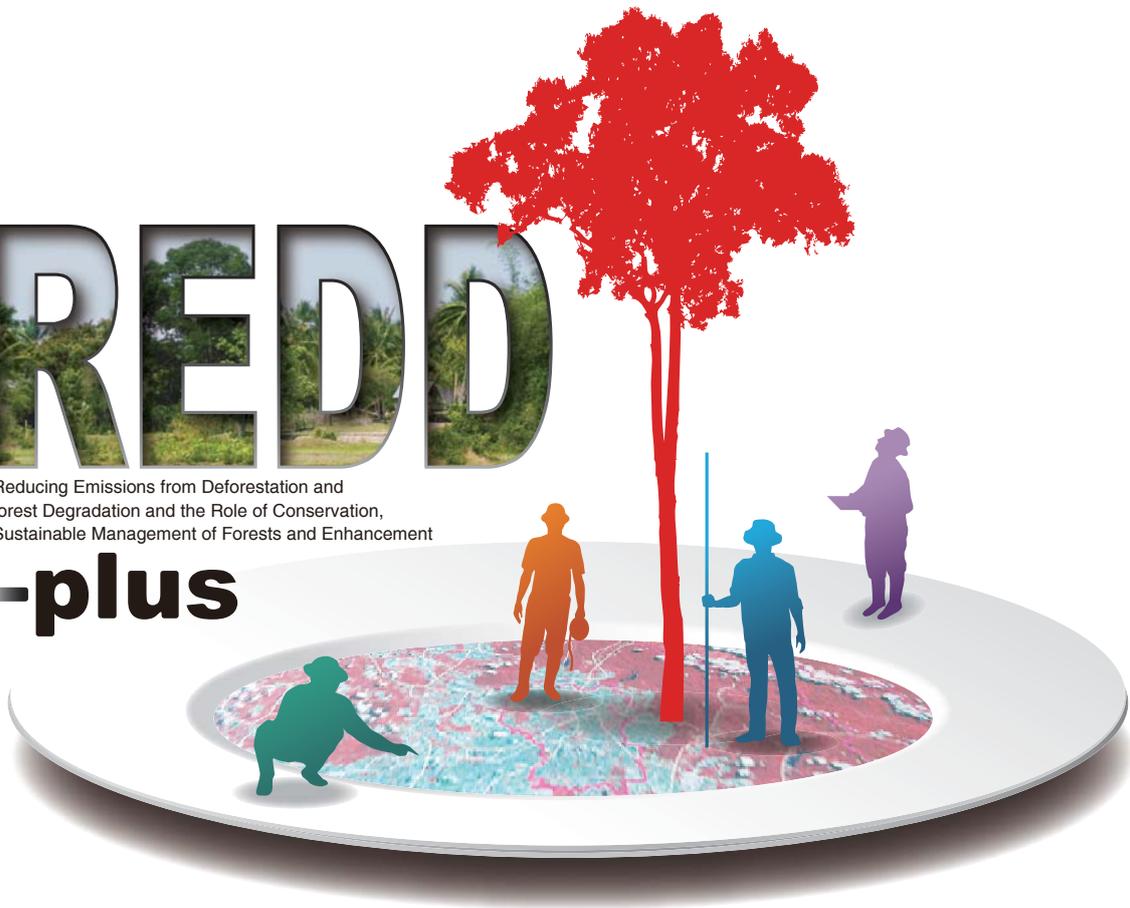


REDD

Reducing Emissions from Deforestation and
forest Degradation and the Role of Conservation,
Sustainable Management of Forests and Enhancement

-plus



LIBRO DE RECETAS

Cómo Medir y Monitorear el Carbono en los Bosques

Prefacio

La deforestación y la degradación forestal en países desarrollados resultan en 20 por ciento de las emisiones de CO₂ antropogénico global y son la mayor fuente de emisiones de CO₂ después del uso de combustibles fósiles. En vista de esto, la implementación de REDD-plus ha sido discutida como un marco internacional para reducir las emisiones de la deforestación y la degradación forestal. Inicialmente, REDD-plus fue solo un punto en la agenda concerniente a la mitigación del cambio climático a futuro bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), pero al avanzar las discusiones en la UNFCCC, REDD-plus fue modificado para incluir actividades bilaterales y multilaterales por las Partes de la Convención y actividades privadas.

El concepto básico de REDD-plus es proveer incentivos económicos tales como financiamiento o créditos para actividades REDD (Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal) y actividades "plus" (reducción de emisiones de CO₂ y niveles de CO₂ en la atmósfera mediante el secuestro de carbono) a países en desarrollo. Así, para estimar los cambios de carbono almacenado en los bosques es esencial el monitoreo usando un enfoque científico.

Este Libro de Recetas es un manual técnico fácil de entender el cual provee de conocimientos básicos y técnicas requeridas para la REDD-plus enfocándose principalmente en métodos de monitoreo forestal. Comprende cuatro partes: "Introducción", "Planeamiento", "Técnicas" y "Guía de Referencia". "Introducción" está diseñada para legisladores y organizaciones asociadas trabajando para introducir la REDD-plus a nivel sub-nacional y/o nacional; "Planeamiento" está dirigida a planificadores y administradores de organizaciones o países trabajando en implementar REDD-plus a nivel sub-nacional y/o nacional; y "Técnicas" para los expertos que trabajan en actividades REDD-plus a nivel sub-nacional y/o nacional. La "Guía de Referencia" provee referencias a documentos útiles que asistirán a los usuarios para una mejor comprensión de "Introducción" y "Planeamiento". Para tener una mejor comprensión de REDD-plus se recomienda leer "Introducción" en conjunto con "Planeamiento", o "Planeamiento" con "Técnicas".

En las secciones "Introducción", "Planeamiento" y "Técnicas", el conocimiento y técnicas que se requieren para tratar la REDD-plus están compilados en unidades llamadas "recetas". Los usuarios pueden fácilmente ir a través de las recetas de cada sección para llegar a recetas de mayor profundidad o a las referencias de acuerdo al "Diagrama de flujo". La "Guía de Referencia" apunta a proveer a los usuarios con información útil al proponer o mostrar ejemplos que pueden ser usados como guía al explorar medidas realistas y prácticas para el diseño e implementación de proyectos y programas.

Este Libro de Recetas es un esfuerzo del Centro de Investigación y Desarrollo REDD que tiene la esperanza de contribuir con la promoción de la REDD-plus en diversas partes del mundo.

Noviembre, 2012

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

Contenido

REDD-plus Diagrama de flujo	6
-----------------------------	---

Introducción	7
--------------	---

Capítulo 1 Acerca de la REDD-plus 8

Receta - I01 Historia de la REDD-plus y su estado actual	10
--	----

Acerca de la REDD-plus / Antecedentes científicos / Antecedentes históricos /
Estado actual de la REDD-plus bajo la UNFCCC / Otras iniciativas / Retos futuros

Receta - I02 Conceptos clave de la REDD-plus	14
--	----

Bosque, deforestación, degradación de bosques y el "plus" en la "REDD-plus" / Escala Objetivo /
Niveles de emisión de referencia y nivel de referencia /
Medida, reporte y verificación de las reservas de carbono del bosque /
Créditos / Enfoque por fases / Salvaguardas

Capítulo 2 Diseñando un sistema de monitoreo de bosque 20

Receta - I03 Medida, reporte y verificación (MRV) del monitoreo forestal	22
--	----

MRV / Medición / Reporte / Verificación / Diseño de un sistema de monitoreo forestal /
Elementos a ser considerados en el diseño del sistema

Receta - I04 Diseño del sistema de monitoreo forestal	26
---	----

Cumplimiento con los acuerdos y reglamentos internacionales /
Consideración de las circunstancias nacionales /
Capacidad de países implementadores y la posibilidad de operación sostenida /
Construcción de una estructura gradual y flexible

Planeamiento	29
--------------	----

Capítulo 3 Conocimiento básico necesario para la implementación de la REDD-plus 30

Receta - P01 Definiciones de bosque, deforestación, degradación forestal y el "plus" en la REDD-plus	32
--	----

Bosque / Deforestación / Degradación forestal / El "plus" en la REDD-plus

Receta - P02 Enfoque por fases	34
--------------------------------	----

Primera fase: preparación / Asistencia para la fase de preparación /
Segunda fase: Implementación / Tercera fase: Implementación plena

Receta - P03 Salvaguardas	38
---------------------------	----

¿Qué es una salvaguarda? / Tratamiento de las salvaguardas dentro de la UNFCCC /
Salvaguarda socio-ambiental /
Efectividad e importancia de las salvaguardas /
Desafíos institucionales de las salvaguardas

Capítulo 4 Medición, reporte y verificación de carbono en bosques 42

Receta - P04 Medición de carbono en bosques 44
¿Qué medir? / ¿Cómo medir?

Receta - P05 Reporte de carbono en bosques 46
¿Qué es "reporte"? / Comunicados nacionales / Inventario nacional de gases de efecto invernadero / Consultas internacionales/Reportes de actualización bianuales y análisis / Requisitos para el reporte

Receta - P06 Verificación de carbono en bosques 50
¿Qué es la verificación? / Requerimientos y procedimientos de la verificación / Enfoque básico para la verificación en el sector forestal / Verificación de las actividades de la REDD-plus

Capítulo 5 Monitoreo mediante el método de diferencia de reservas 54

Receta - P07 Método de diferencia de reservas 56
¿Qué es el método de diferencia de reservas? / Estimación del área / Estimación del cambio en área de bosque / Estimación de la reserva de carbono por unidad de área / Estimación del cambio en las reservas de carbono

Receta - P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto 60
Tipos de datos de sensoramiento remoto y software / Pre-procesamiento de datos / Definición de clases / "Ground Truth" / Métodos de clasificación / Verificación de la precisión de los resultados de clasificación / Estimación del cambio de área de bosque

Receta - P09 Estimación de las reservas de carbono por unidad de área 64
Recursos asequibles / Medición directa de las reservas de carbono (método de la parcela permanente de muestreo) / Medición indirecta de las reservas de carbono (método del modelo de estimación de la masa forestal)

Receta - P10 Método de la parcela permanente de muestreo 66
Número requerido de parcelas permanentes de muestreo y sus ubicaciones / Diseño y medición de las parcelas permanentes de muestreo / Análisis de los datos de las parcelas permanentes de muestreo

Receta - P11 Método de modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa forestal 68
Determinación y verificación del modelo / Método de la altura del estrato superior / Método del diámetro de copa / Método de la edad de la comunidad / Método del coeficiente de retrodispersión

Receta - P12 Cálculo de las emisiones y remociones de carbono 70
Cálculo de las reservas de carbono y de los cambios en las reservas de carbono / Incertidumbre de la estimación

Receta - P13 Nivel de emisión de referencia y nivel de referencia 72
Determinación del nivel de emisión de referencia y del nivel de referencia / Discusiones en la UNFCCC / Retos en la organización

Técnicas	75
----------------	----

Capítulo 6 Preparación para la implementación de la REDD-plus	76
--	-----------

Receta - T01 Inventario Forestal Nacional	78
¿Qué es un inventario forestal nacional? /	
Diseño de muestreo del inventario forestal nacional / Dirigiendo el inventario /	
Inventarios forestales nacionales en países tropicales	
Receta - T02 ¿Qué gases de efecto invernadero son medidos?	80
Gases de efecto invernadero que pueden ser gases objetivo en la REDD-plus /	
Los cinco reservorios de carbono en bosques	
Receta - T03 Recursos asequibles	82
Recursos de sensoramiento remoto / Recursos para el estudio de campo / Continuidad de recursos	
Receta - T04 Sistema de certificación de créditos voluntarios de carbono	84
El estado actual del sistema de certificación VER / VCS / Consideraciones futuras	

Capítulo 7 Estimación del área de bosque usando sensoramiento remoto	86
---	-----------

Receta - T05 Sensoramiento remoto, tipos de sensores y selección de datos satelitales	88
Plataformas / Sensores /	
Resolución espacial, resolución de longitud de onda y resolución temporal /	
Presente, pasado, y futuro / Selección de datos de imágenes / Software	
Receta - T06 Nubes y diferencias estacionales en imágenes	96
Remoción de nubes / Ajuste de la estacionalidad	
Receta - T07 Definición de clases de cobertura de suelo	98
Clases mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas /	
Sistemas de clasificación deseables y posibles / Integración de clases después de la clasificación	
Receta - T08 "Ground Truth"	100
"Ground Truth" / Información de la posición y precisión del "Ground Truth" /	
Método de muestreo / Número de muestras	
Receta - T09 Método de clasificación	102
Clasificación en sensoramiento remoto /	
Clasificación basada en píxeles y clasificación basada en objetos	
Receta - T10 Evaluación de la precisión	104
La matriz de error e indicadores de precisión /	
Incertidumbre en la matriz de error y el "Ground Truth"	
Receta - T11 Estimación del cambio de área de bosque	110
Comparación entre la clasificación de imágenes adquiridas en dos tiempos distintos /	
Detección de cambios de cobertura de suelo por clasificación multi-temporal /	
Algunos apuntes sobre la detección de cambios	

Capítulo 8 Método de la parcela permanente de muestreo 112

Receta - T12 Sobre la cantidad y organización de las parcelas permanentes de muestreo 114
Precisión requerida / Cálculo del número requerido de parcelas permanentes de muestreo /
Estratificación apropiada

Receta - T13 Medición de las parcelas permanentes de muestreo 116
Tamaño de parcela / Forma de la parcela / Preparativos para un inventario forestal /
Elevando la precisión de la medición

Receta - T14 Análisis de los datos de las parcelas permanentes de muestreo 120
Acerca de las ecuaciones alométricas /
Selección de una ecuación alométrica apropiada para la región objetivo

Capítulo 9 Modelos de estimación de la reserva de carbono de la masa boscosa 124

Receta - T15 Diseño del modelo 126
Muestreo doble /
Estimación indirecta de las reservas de carbono mediante modelos de correlación /
Evaluación de la precisión del modelo y costos / Notas sobre la aplicación de modelos en un bosque

Receta - T16 Método de la altura del estrato superior 130
Correlación entre la altura del estrato superior y la biomasa /
Medición de la altura del estrato superior mediante sensoramiento remoto /
Factores que afectan la precisión de la estimación

Receta - T17 Método del diámetro de copa 132
Midiendo diámetros de copa para la estimación de reservas de carbono /
Determinando la relación entre el diámetro de copa y la biomasa /
Notas sobre el uso del método del diámetro de copa

Receta - T18 Método de la edad de la comunidad 134
Sobre el método de la edad de la comunidad /
Creación de la ecuación de relación mediante un estudio de campo /
Ventajas y desventajas del método de la edad de la comunidad

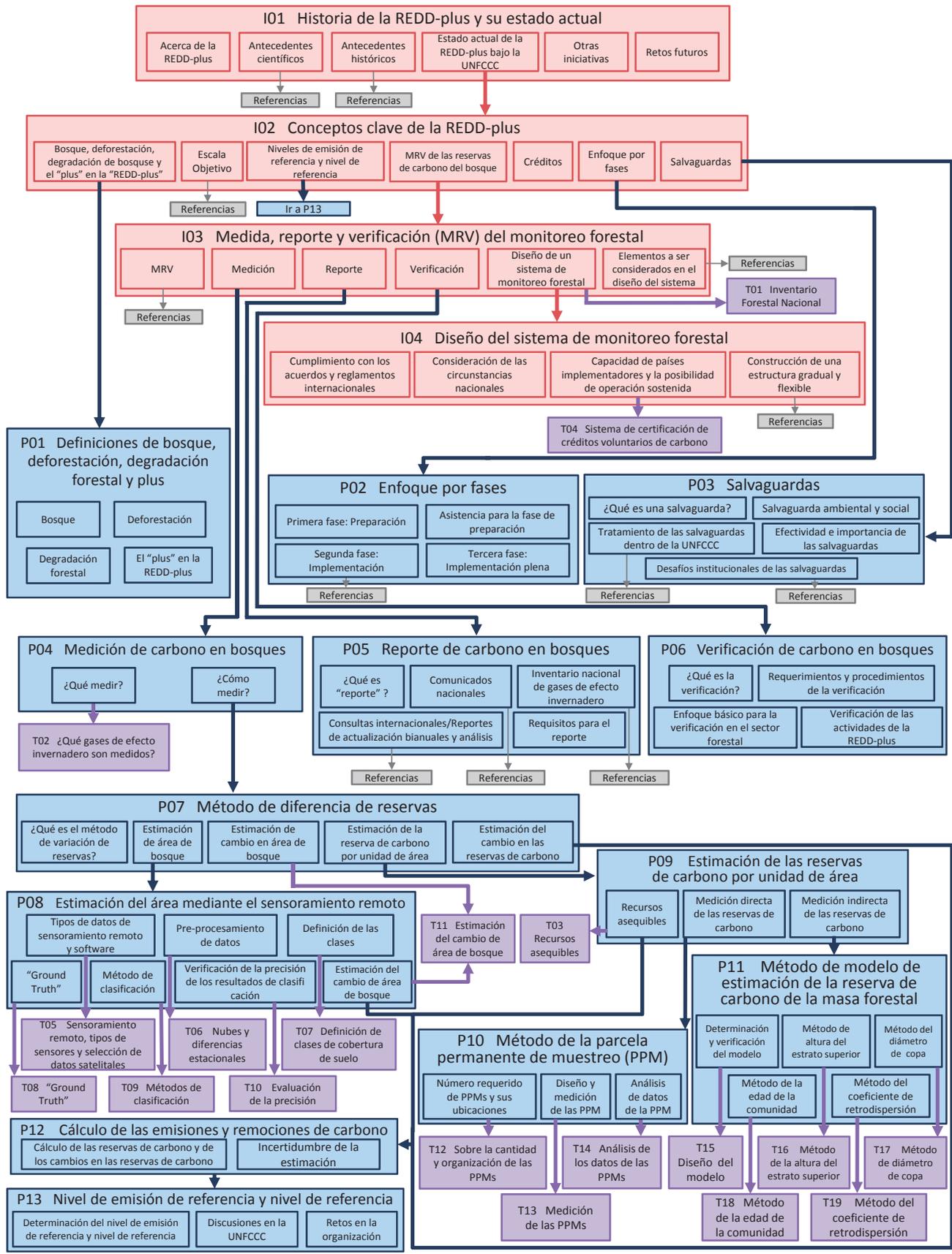
Receta - T19 Método del coeficiente de retrodispersión 136
Sobre el método del coeficiente de retrodispersión /
Creación de un modelo de estimación mediante estudios de campo /
Un ejemplo de estimación de biomasa /
Ventajas y desventajas del método del coeficiente de retrodispersión

Guía de Referencia 139

Índice 152

Autores 156

REDD-plus Diagrama de flujo



Introducción



1

Capítulo 1 Acerca de la REDD-plus



Una idea de REDD (Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal en países en desarrollo) fue propuesta por Papua Nueva Guinea y Costa Rica en la 11^{ra} Conferencia de las Partes (COP11) a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) como un marco de mitigación del cambio climático. En la COP 13, la REDD fue expandida para incluir medidas de conservación forestal, manejo sostenible de bosques y mejora de las reservas de carbono en bosques. Esta versión expandida es conocida como la REDD-plus.

En este capítulo, la REDD-plus, sus actividades y ámbito, son presentados y explicados incluyendo la historia de su desarrollo y otros conceptos importantes que surgieron en el curso de las negociaciones de ésta y su implementación durante la UNFCCC, así como los esfuerzos relacionados que fueron emprendidos por otras organizaciones.

I01 Historia de la REDD-plus y su estado actual

I02 Conceptos clave de la REDD-plus

Historia de la REDD-plus y su estado actual

Las principales causas del cambio climático global son los altos niveles atmosféricos de dióxido de carbono (CO₂) en asociación con las altas emisiones de CO₂, la deforestación y la degradación de los bosques en países en desarrollo la cual explica el 20 por ciento de las emisiones globales de CO₂ y constituye la segunda fuente de emisión más grande después de la combustión de combustibles fósiles. En consecuencia, la reducción de las emisiones por deforestación y degradación forestal es vital. En esta receta se explican los antecedentes científicos e históricos de la REDD-plus y su estado actual.

Acerca de la REDD-plus

La REDD-plus (Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal y el rol de la conservación, manejo sostenible de los bosques y mejora de las reservas de carbono en los bosques) es un marco de mitigación del cambio climático. Inicialmente, la REDD-plus fue solo un punto en la agenda concerniente a la mitigación del cambio climático a futuro bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Luego, con el progreso de las discusiones de la UNFCCC, la REDD-plus fue modificada para incluir actividades bilaterales y multilaterales por las Partes de la Convención y actividades privadas. Actualmente, las actividades de conservación de bosques para mitigar el cambio climático en países en desarrollo se incluyen dentro de la REDD-plus, y la REDD-plus es el marco reconocido para proveer incentivos económicos (financiamiento, créditos, etc.) para la reducción de emisiones de CO₂ por deforestación y degradación de bosques, o el incremento de la remoción de CO₂ mediante la mejora de las reservas de carbono del bosque.

INFO

1) Denman KL, Brasseur G, Chidthaisong A, Ciais P, Cox PM, Dickinson RE, Hauglustaine D, Heinze C, Holland E, Jacob D, Lohmann U, Ramachandran S, da Silva Dias PL, Wofsy SC, Zhang X (2007) Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 499-587

INFO

2) Nabuurs GJ, Masera O, Andrasko K, Benitez-Ponce P, Boer R, Dutschke M, Elsiddig E, Ford-Robertson J, Frumhoff P, Karjalainen T, Krankina O, Kurz WA, Matsumoto M, Oyhantcabal W, Ravindranath NH, Sanz Sanchez MJ, Zhang X (2007) Forestry. In: Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 541-584

Antecedentes científicos

El gran impacto que produce la emisión de CO₂ por la deforestación y degradación de los bosques en los países en vías de desarrollo, en la circulación de carbono global, fue señalado en el Tercer Informe de Evaluación (TAR) publicado por el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) del año 2001. Por su parte en el Cuarto Informe de Evaluación de la IPCC (AR4) publicado en el año 2007, se señaló que en el ciclo global de carbono para la década de 1990, aproximadamente el 80% de la emisión de CO₂ son emisiones provenientes del uso de combustibles fósiles y la producción del cemento y que el 20% restante proviene de los cambios del uso de la tierra, es decir, se origina en la reducción de los bosques ¹⁾. Además, dentro del sector forestal, el 65% del potencial de reducción se encuentra en la zona tropical, de los cuales se comenta que el 50% puede ser lograda mediante la reducción de la emisión proveniente de la deforestación ²⁾. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señala que en Brasil, Indonesia y África Tropical,

existe una drástica deforestación ³⁾, y la Stern Review insistió que el control de la deforestación tiene un alto rendimiento costo beneficio para la reducción de gases de efecto invernadero ⁴⁾, ⁵⁾.

Por su parte, el 4^{to} Informe de Evaluación de la IPCC ha utilizado una gran cantidad de páginas para describir la importancia del efecto de actividades de control de la deforestación y degradación forestal en los países en vías de desarrollo, ya que no solo se limitará en la mitigación del calentamiento, sino que se podría esperar una contribución a la sociedad y población local mediante el mantenimiento y aumento de los servicios del ecosistema que tienen los bosques, tales como la biodiversidad, recursos hídricos y medio ambiente, entre otros.

Sin embargo, a pesar de que la necesidad y la importancia del control de la deforestación y degradación forestal en los países en vías de desarrollo fueron conocidas relativamente temprano, dentro de la UNFCCC no está incorporado un marco que tenga por objetivo el control de la deforestación y degradación forestal. Con estos antecedentes científicos, se está llevando a cabo el establecimiento del sistema para REDD-plus.

Antecedentes históricos (ver I02)

Las discusiones sobre la REDD-plus iniciaron en la 11^{ra} Conferencia de las Partes (COP11) la cual tuvo lugar en Montreal en el 2005, cuando Papúa Nueva Guinea y Costa Rica presentaron de manera conjunta la propuesta llamada "Reduciendo las emisiones por deforestación en países en desarrollo: enfoques para estimular la acción". Esta propuesta, la cual fue adoptada como un punto en la agenda por el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (SBSTA), es referida como REDD (Reduciendo las emisiones por deforestación en países en desarrollo).

Inicialmente, el SBSTA tuvo la intención de discutir la propuesta por dos años y luego reportar los resultados de esas discusiones a la COP13, pero en el curso de las discusiones muchos países en desarrollo solicitaron que la REDD debiera incluir mecanismos para la conservación y manejo sostenible de los bosques así como también la mejora de las reservas de carbono del bosque (siendo el "plus" en la REDD-plus) adicionalmente a los mecanismos para la reducción de las emisiones por deforestación y la degradación de los bosques. Es así que, en la COP13 celebrada en Bali en el año 2007, la propuesta fue ampliada para incluir estas actividades y adoptada como punto en la agenda de las discusiones sobre el desarrollo de un marco post-2013. Este marco ampliado es referido como REDD-plus.

Después de una revisión adicional de dos años, la necesidad del desarrollo temprano del marco de la REDD-plus incluyendo un mecanismo de financiamiento fue mencionado en el Acuerdo de Copenhagen, adoptado por la COP15 en el año 2009 ⁶⁾. Se acordó también el uso de la más reciente Guía de la IPCC para establecer un sistema de monitoreo forestal a nivel sub-nacional o nacional que use una

INFO

3) FAO (2006) Extent of forest resources. In: Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 147:11-36

INFO

4) Stern N (2007) Identifying the costs of mitigation. In: Stern review on the economics of climate change. Cambridge University Press, 211-238

INFO

5) Esta observación está basada en la evaluación del costo de oportunidad de los cambios de uso de suelo; los costos de mantener los sistemas locales al implementar la REDD-plus y los del desarrollo del sistema de monitoreo no se tomaron en consideración.

INFO

6) UNFCCC (2009) Decision 2/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 4-7, UNFCCC

INFO

7) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

INFO

8) UNFCCC (2010) III-C, Decision 1/CP.16, FCCC/CP/2010/7/Add.1, 12-14, UNFCCC

INFO

9) UNFCCC (2011) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, 16-18, UNFCCC

combinación de sensoramiento remoto con inventarios de campo, y que considere las circunstancias presentes e históricas respectivas de cada país para establecer niveles de referencia que sirvan como estándares contra los cuales evaluar las acciones. Este acuerdo es la base de la actual metodología técnica de la REDD-plus ⁷⁾.

En la COP16 que tuvo lugar en Cancún en el año 2010 se propusieron el marco básico de la REDD-plus el cual incluye cinco actividades objetivo, un enfoque por etapas y la consideración de salvaguardas ⁸⁾. Así, bajo la UNFCCC, tuvo lugar el Acuerdo de Cancún la cual es la base de la REDD-plus.

Estado actual de la REDD-plus bajo la UNFCCC

En el Acuerdo de Durban, concluida en la COP17 en el año 2011, se estableció que todos los países participarían en el desarrollo de un nuevo marco que reemplazaría al Protocolo de Kyoto. Este marco debería completarse en el 2015 y puesto en efecto en el 2020. Es así que, para posicionar a la REDD-plus en este nuevo marco, las metodologías y reglas para su implementación estarían desarrolladas para el 2015 para empezar a ser implementadas en el 2020.

En la COP17 se llegó a un acuerdo en relación a la guía para los sistemas proveedores de información sobre cómo las salvaguardas son abordadas y respetadas, así como también las modalidades relacionadas con los niveles de emisión de referencia y niveles de referencia para la REDD-plus ⁹⁾. La identificación de los motores de la deforestación y la degradación forestal, el desarrollo de los métodos de evaluación de medidas y métodos de estimación de emisiones y remociones por bosques, las modalidades para un sistema de medición, reporte y verificación confiable, y los requerimientos para un sistema nacional de monitoreo forestal están

aún en revisión. Asimismo, fue pospuesta para más adelante la discusión sobre los mecanismos para financiar medidas para la reducción de la deforestación y degradación de bosques en países en desarrollo y para obtener el apoyo de países desarrollados.

Tabla I01-1 Extractos del Acuerdo de Cancún relacionados con la REDD-plus

1	Las partes confirman que el objetivo debe ser la reducción, paralización, reversión de la pérdida de la cobertura boscosa y carbono, en forma unificada.
2	Implementar la promoción de las siguientes actividades para los países en vías de desarrollo: (a) Reducción de las emisiones provenientes de la deforestación, (b) Reducción de las emisiones provenientes de la degradación forestal, (c) Conservación de las reservas de carbono del bosque, (d) Manejo forestal sostenible, (e) Fortalecimiento de las reservas de carbono del bosque;
3	Indicado en la Guía: Ser consistente con el objetivo de integridad medio ambiental y considerar las múltiples funciones del bosque y otros ecosistemas, respetar la soberanía del estado, basarse en los resultados y promover una gestión forestal sostenible.
4	Los países en vías de desarrollo encaran la definición de los siguientes elementos; (a) Una estrategia nacional o plan de acción, (b) Un nivel de emisión de referencia forestal nacional y/o un nivel de referencia forestal (c) Un Sistema de Nacional de Monitoreo Forestal, (d) Elaboración de un sistema de información para las salvaguardas.
5	Implementar la REDD-plus en tres fases: 1ra fase (fase de preparación), 2 ^{da} fase (fase de implementación), 3 ^{ra} fase (fase de implementación plena), dependiendo de la situación de país, sus capacidades, posibilidades futuras y el nivel de asistencia recibida.
6	Las salvaguardas a ser promovidas y respaldadas: Estructuras de gobernanza forestal nacional; respeto por el conocimiento y los derechos de los pueblos indígenas y miembros de comunidades locales; acciones consistentes con la conservación de los bosques naturales y diversidad biológica; etc.

Otras iniciativas

Aunque la REDD-plus está todavía siendo discutida y desarrollada bajo la UNFCCC, le tomará un tiempo a los países participantes el llegar a un consenso. Mientras tanto, no puede negarse que la tasa de deforestación y degradación de bosques se incrementa. Para revertir esta tendencia se requiere la temprana implementación de la REDD-plus. Con esto en mente, se realizan esfuerzos voluntarios fuera de la UNFCCC.

La "Sociedad REDD-plus" fue establecida en Mayo del 2010 como una plataforma intermedia para promover actividades REDD-plus, y para el 24 de Agosto del año 2012 ya eran 75 países los que la integraban. Adicionalmente, muchas organizaciones desarrollaron proyectos bilaterales o multilaterales. Entre los más conocidos se encuentran el Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) del Banco Mundial, la ONU-REDD organizada por la FAO, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), y la Iniciativa Internacional de Carbono en Bosques de Australia. El gobierno Japonés ha propuesto un Mecanismo de Compensación de Crédito Bilateral (BOCM) y considera la introducción de actividades REDD-plus.

El Estándar Voluntario de Carbono (VCS) es un estándar de acreditación por una tercera parte el cual certifica la reducción verificada de emisiones (VERs) dentro de un mercado de carbono voluntario y que ahora es usado ampliamente para evaluar actividades voluntarias de la REDD-plus a nivel de proyecto (ver T04).

Retos futuros

El monitoreo forestal a nivel nacional y los sistemas de medición, reporte y verificación (MRV) (ver I03) debieran ser desarrollados sobre una base científica sólida, con miras hacia su viabilidad en países en desarrollo, reflejando apropiadamente los esfuerzos y experiencias en curso.

Los niveles de referencia deben ser establecidos no sólo a través de teoría sino también considerando ejemplos prácticos. Al desarrollar niveles de referencia, es muy importante tomar en cuenta las condiciones de cada país y la tendencia histórica de las emisiones. Las salvaguardas (ver P03) son igualmente importantes, pero sus características específicas aún requieren de aclaración. Por esto, aún es necesario desarrollar métodos apropiados de evaluación y reporte.

En los países participantes de la REDD-plus, numerosos proyectos voluntarios liderados por organizaciones del sector privado están siendo ejecutados en conjunto con actividades de la REDD-plus a nivel sub-nacional o nacional bajo la UNFCCC. El desarrollo de una manera consistente de encajar estos proyectos en el marco de la REDD-plus es un reto para el futuro.

Conceptos clave de la REDD-plus

La Receta anterior es

Receta I01 Historia de la REDD-plus y su estado actual

Las discusiones de la REDD-plus por las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, llevadas a cabo por años desde varias perspectivas, han establecido ciertos conceptos importantes y necesarios para entender el marco de la REDD-plus. En esta receta, estos conceptos importantes son explicados.

Bosque, deforestación, degradación de bosques y el "plus" en la "REDD-plus" (ver P01)

La REDD fue originalmente propuesta en la 11ª Conferencia de las Partes (COP11) y fue expandida en la COP13 para incluir la conservación de bosques, manejo sostenible de bosques y mejora de las reservas de carbono, denominándose a esta versión expandida como "REDD-plus" (ver I01). Actualmente, la REDD y "plus" están considerados en conjunto, pero en realidad la REDD se refiere a actividades para restringir la presión antropogénica la cual se entiende como el cambio de uso de suelo y tala, mientras que "plus" se refiere a actividades diseñadas a conservar o mejorar las reservas de carbono del bosque.

Un "bosque" no está cuantitativamente definido en las guías del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En lugar de eso, se acordó que cada país utilice la definición que establezcan para sí mismos siguiendo mediciones en serie temporal. Sin embargo, el Protocolo de Kyoto y la Evaluación de

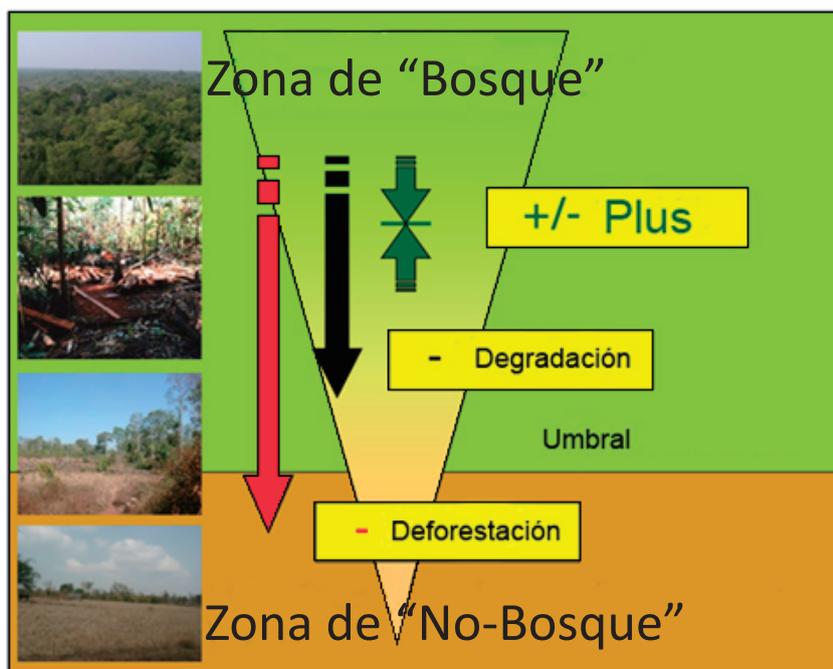


Figura I02-1 Definiciones de bosque, deforestación, degradación de bosques y el "plus" en REDD-plus

los Recursos Forestales Mundiales (FRA) producida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) han adoptado definiciones basándose en criterios cuantitativos de área mínima, altura mínima potencial del árbol y cobertura de copa mínima. En el protocolo de Kyoto, "deforestación" se define como la conversión directa causada por el hombre de un área de "bosque" a "no-bosque" (Figura I02-1). Una definición similar de "deforestación" es utilizada en REDD-plus, pero la discusión continúa en cuanto a las definiciones de "degradación de bosques", "plus" y sobre cómo identificar conversión antropogénica.

Escala Objetivo

La REDD-plus puede ser implementada en una de tres escalas o niveles: nacional, sub-nacional o a nivel de proyecto. La implementación de actividades de REDD-plus en una área determinada puede causar filtración a otras áreas. Aquí, el concepto de filtración es la misma de "desplazamiento" utilizada por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM). La filtración ocurre cuando la restricción de la deforestación y la degradación de bosques en áreas donde se implementa la REDD-plus provoca el incremento de la deforestación o la degradación forestal en otras áreas. La UNFCCC considera que la filtración a diferentes áreas de un país puede ser evitada mediante la implementación de la REDD-plus a nivel nacional, y que la filtración a otros países debería ser tratada con el incremento del número de países participando en REDD-plus. Sin embargo, a la fecha, cada país que es Parte en la UNFCCC decide su participación en este marco y la filtración desde países participantes hacia otros países es una preocupación. Por ejemplo, si el país A controla de forma estricta la tala ilegal, entonces los taladores ilegales podrían movilizarse hacia el país B y efectuar ahí su tala ilegal. Como resultado, a pesar de que las actividades REDD-plus reducen exitosamente la emisión de los gases de efecto invernadero debido a la deforestación y degradación de bosques en el país A, las emisiones podrían incrementarse en el país B en donde la tala ilegal ocurre.

A pesar de que lo mejor sería que se implemente la REDD-plus a nivel nacional, para algunos países la implementación nacional inmediata puede no ser viable dependiendo de las capacidades y el tamaño del país. Por esta razón, la implementación a nivel sub-nacional ha sido propuesta. Sin embargo, el nivel "sub-nacional" aún no ha sido definido y el tamaño del área objetivo podría variar de acuerdo al tamaño del país y las subdivisiones administrativas que usa. Por ejemplo, si cierto país consiste en tres estados A, B y C, y la REDD-plus se implementa en 2 estados (A y B) con ambos reduciendo las emisiones por una y dos unidades respectivamente mientras que las emisiones se incrementan en el estado C en cuatro unidades, entonces se le concede al país el crédito a pesar de que en términos netos las emisiones de todo el país se incrementan en una unidad. Así, el nivel sub-nacional puede ser efectivo para una implementación inicial de la REDD-plus, pero se

INFO

1) Denman KL, Brasseur G et al. (2007) Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry, *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis* (IPCC), 499-587, Cambridge University Press.

considera como una etapa de transición a la implementación plena a nivel nacional ¹⁾.

A pesar de que el marco de la REDD-plus aún no ha sido finalmente establecido bajo la UNFCCC, sus actividades están siendo llevadas a cabo a nivel de proyecto por organizaciones privadas como ONG's de forma voluntaria. La implementación de la REDD-plus a nivel de proyectos es efectiva en reducir emisiones, pero los datos de emisión generados por ésta puede no ser de precisión comparable aún cuando tales proyectos hayan sido llevados a cabo en un mismo país, debido a que métodos distintos pudieron haber sido utilizados para calcular las reservas de carbono del bosque y los cambios de las reservas de carbono.

Posteriormente, cuando la REDD-plus es completamente implementada a nivel nacional en países donde actividades a nivel de proyecto han sido llevadas a cabo, el reto mayor es la reconciliación de las estimaciones de las reservas de carbono a nivel nacional con las obtenidas a nivel de proyecto por diferentes métodos con diferentes niveles de precisión.

Niveles de emisión de referencia y nivel de referencia (ver P13)

El concepto básico de la REDD-plus es la de proveer incentivos económicos tales como financiamiento o créditos para los países en desarrollo para actividades REDD (Reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal) y actividades "plus" (reduciendo emisiones de CO₂ y niveles de CO₂ en la atmósfera por secuestro de carbono). Para cuantificar las reducciones de emisión de CO₂ debido a la REDD-plus, un nivel de emisión de referencia y un nivel de referencia se establece mediante la comparación con el caso en donde ninguna actividad de la REDD-plus haya sido efectuada. En reuniones de expertos celebradas a solicitud de la SBSTA, la diferencia entre el "nivel de emisión de referencia" y "nivel de referencia" ha sido hecha de dos formas: en la primera "nivel de emisión de referencia" se define como la emisión neta, y el "nivel de referencia" como la absorción neta a escala nacional, y en la segunda, el "nivel de emisión de referencia" es definido como el nivel de uso en la evaluación de las reducciones de emisiones por actividades de la REDD mientras que el "nivel de referencia" es definido como el que es usado para evaluar las reducciones de emisiones de las actividades "plus". En algunos casos, ambas definiciones podrían ser utilizadas aún en el mismo país.

La COP15 concluyó que cuando los países en desarrollo establezcan un nivel de emisión de referencia o un nivel de referencia, éste debe ser establecido utilizando datos históricos de acuerdo a las circunstancias nacionales asegurándose de que sea de forma transparente. La COP16 decidió que el nivel de emisión de referencia de un bosque y el nivel de referencia de un bosque a escala nacional o sub-nacional como medida tradicional, deben ser establecidos para la implementación de las actividades de la REDD-plus en países en desarrollo. Sin embargo, aún hace falta desarrollar las definiciones de estos niveles de referencia y los detalles sobre cómo establecerlos.

Medida, reporte y verificación de las reservas de carbono del bosque (ver I03)

En las discusiones del marco después del primer período del compromiso del protocolo de Kyoto en el año 2012 bajo la UNFCCC, la importancia del sistema de medición, reporte y verificación (MVR) ha sido enfatizada. Cuando la REDD-plus es implementada, la MRV de las reservas de carbono del bosque es esencial para asegurar la transparencia. En particular, la MRV debe ser de alta precisión antes de que los incentivos económicos, tales como los créditos, sean emitidos.

Un sistema de monitoreo es indispensable para la medición precisa de las reservas de carbono del bosque y sus cambios a nivel nacional. La guía para la metodología determinada en la COP15 bajo la UNFCCC requiere que los países en desarrollo construyan un sistema de monitoreo forestal nacional altamente transparente y robusta. Para estimar el balance de gases de efecto invernadero, las reservas de carbono y los cambios de cobertura forestal, se recomendó un sistema de monitoreo que combine el sensoramiento remoto con inventarios de campo.

Créditos para las actividades de la REDD-plus se emitirán en base a los resultados de esta medición. Para asegurar un sistema de créditos transparente y confiable para las reducciones de gases de efecto invernadero, un sistema para reportar y verificar los resultados de las mediciones es indispensable.

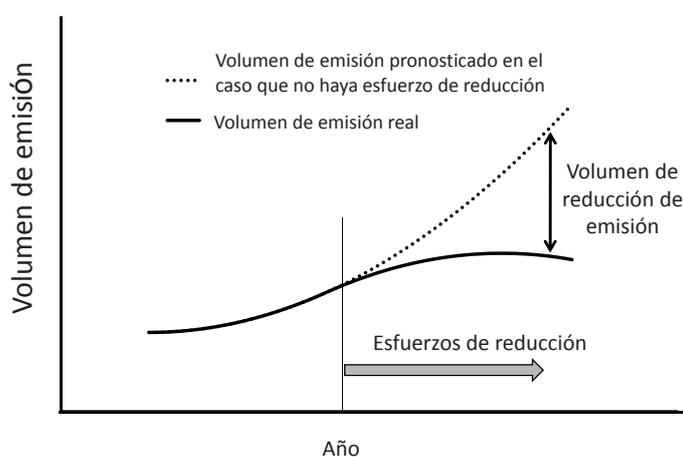


Figura I02-2 Concepto de reducción de emisiones

Créditos

La REDD-plus incluirá un mecanismo que provea incentivos económicos para los esfuerzos de los países en desarrollo para reducir las emisiones de CO₂ mediante la

reducción de la deforestación y la degradación de bosques y la conservación de los bosques existentes. Un tipo de incentivo económico son los créditos de carbono. Bajo la UNFCCC, ambos un enfoque basado en fondos de financiamiento y un enfoque basado en el mercado han sido propuestos; más aún, un enfoque híbrido está bajo consideración para la implementación de la REDD-plus. En el enfoque basado en el mercado, los créditos comercializables para las reducciones o remociones de emisiones de gases de efecto invernadero logrados por la REDD-plus serán emitidos.

A pesar de que el marco de la REDD-plus está aún en desarrollo bajo la UNFCCC, las actividades de la REDD-plus a nivel de proyecto han sido ya iniciadas por organizaciones privadas tales como las ONG's en muchas partes del mundo, junto con el comercio de los créditos en mercados voluntarios de carbono (ver T04). Cuando la REDD-plus esté implementada a nivel nacional o sub-nacional bajo la UNFCCC, los créditos emitidos para esas actividades podrían no ser equivalentes a aquellos comercializados por el mercado voluntario de carbono debido a posibles diferencias en el nivel de precisión de la MRV; reconciliar las diferencias será todo un reto. Adicionalmente, los créditos de compensación son comercializados en el mercado voluntario en donde los créditos por lograr los objetivos nacionales, tales como los créditos de Kyoto, son créditos de mercado por cumplimiento. Una gran preocupación de los actores es el determinar qué tipo de créditos serán usados para las actividades de la REDD-plus bajo la UNFCCC.

Enfoque por fases (ver P02)

El concepto básico de la REDD-plus es el proveer incentivos económicos basados en la precisión, por lo que se necesita la MRV de las reservas de carbono del bosque. Sin embargo, muchos países en desarrollo no tienen los datos históricos adecuados y difieren en sus capacidades de implementación. Por esto se ha propuesto y discutido durante sesiones de negociaciones un enfoque por fases que permita la implementación de la REDD-plus en pasos de acuerdo a las circunstancias de cada país. Este enfoque por fases ha sido revisado y acordado por la COP16.

En conformidad con este acuerdo, la REDD-plus puede ser implementada en tres etapas o fases:

- Fase 1: Preparación: Construcción de capacidades de la nación y formulación de estrategias.
- Fase 2: Implementación: Implementación de políticas y medidas de la estrategia nacional.
- Fase 3: Implementación plena: La implementación plena de las actividades para las cuales se proveen los incentivos económicos basados en el logro de reducciones en emisiones.

Durante la primera fase, la MRV de alta precisión de las reservas de carbono del bosque por países en desarrollo no es esperado; por lo tanto, la fase 1 de la MRV no puede ser considerada como equivalente a la MRV durante la fase 3. Es así que durante la fase 1 se ha recomendado que se provea la Asistencia Oficial de Desarrollo (ODA) y otros financiamientos.

Salvuardas (P03)

El concepto básico de la REDD-plus como un marco para la mitigación del cambio climático es la provisión de incentivos económicos para recompensar esfuerzos en reducir emisiones por deforestación y degradación de bosques y la mejora de las reservas de carbono del bosque. Sin embargo, para obtener los incentivos económicos ofrecidos, la población indígena o las comunidades locales podrían estar limitadas o prohibidas de usar el bosque o incluso bosques pueden ser convertidos en plantaciones de crecimiento rápido. Tales actividades infringirían los derechos de la población indígena y comunidades locales, causando a su vez la pérdida de la biodiversidad. Por esto, las discusiones bajo la UNFCCC han recomendado el desarrollo de salvuardas diseñadas para reducir el riesgo de impactos negativos al medio ambiente natural y social e incrementar los impactos positivos en ellos.

El desarrollo de salvuardas ha recibido mucha atención de varios actores, tales como la Convención de Diversidad Biológica de la Conferencia de las Partes, organizaciones internacionales, países donantes, ONG's, etc. En la COP17 se adoptó la "guía en sistemas para proporcionar información sobre cómo las salvuardas son abordadas y respetadas". Sin embargo, aún no han sido clarificados en la UNFCCC los métodos específicos y regulaciones para implementar las salvuardas debido a que las circunstancias de cada país es muy variable. Para promover y apoyar las salvuardas se esperan discusiones adicionales sobre reglas oficiales bajo la UNFCCC.

2

Capítulo 2 Diseñando un sistema de monitoreo de bosque



Se requiere que los países en desarrollo elaboren un sistema de monitoreo de bosques para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, los cambios en cobertura boscosa y en las reservas de carbono del bosque. Tal sistema es esencial no sólo para la implementación de la REDD-plus sino también para el manejo sostenible de los bosques. Este resultado es usado para estimar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero atribuible a las actividades REDD-plus y de acuerdo a ello se emitirán los créditos. Por lo tanto, el monitoreo debe ser conducido de forma de ser confiable, transparente, precisa tanto como sea posible, viable para países en desarrollo y aceptable por la comunidad global. Más aún, un sistema flexible es necesario dado que las circunstancias de cada país son diferentes.

En este capítulo se considera el diseño de un sistema de monitoreo forestal que incluye medida, reporte y verificación (MRV) de acuerdo a requerimientos que han sido acordados internacionalmente.

103 Medida, reporte y verificación (MRV) de monitoreo de bosques

104 Diseño del sistema de monitoreo de bosques

Medida, reporte y verificación (MRV) de monitoreo de bosque

La Receta anterior es

Receta I02 Conceptos clave de la REDD-plus

Medida, reporte y verificación (MRV) es un concepto de mecanismo y/o requerimientos que permiten la evaluación objetiva del estado de la implementación de las políticas de la REDD-plus de las emisiones o remociones para el mecanismo de crédito. Aún está bajo discusión el cómo implementar el MRV a nivel sub-nacional y nacional para la REDD-plus, pero algunos sistemas de verificación de crédito voluntario usados por el sector privado (por ejemplo, el Estándar Verificado de Carbono (VCS); ver T04) han propuesto el marco para la implementación de la MRV a nivel de proyecto tomando en consideración diseños institucionales de marcos similares tales como el del Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM). En este capítulo se explica el significado de "medida", "reporte" y "verificación" y se explica los requerimientos de la MRV del monitoreo forestal para la REDD-plus.

INFO

1) El MRV es el concepto para realizar acciones locales e internacionales para la mitigación del cambio climático y para garantizar la calidad de las acciones. Las mediciones y el reporte en los Comunicados Nacionales (Ncs) en el Acuerdo de Copenhague y su verificación por el International Assessment and Review (IAR) son un ejemplo de los marcos MRV acordados.

INFO

2) IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (2003) Good practice guidance for land use, land use change, and forestry. Technical Support Unit IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Hayama, Japan.

MRV

El concepto de MRV fué introducido en el Plan de Acción de Bali en la 13^{va} Conferencia de las Partes (COP13) en 2007. De acuerdo a este plan, las acciones de mitigación para los gases de efecto invernadero (GEI) y los compromisos deben ser medibles, reportables y verificables. Sin embargo, las discusiones internacionales aún continúan sobre este propósito y objetivo específico del MRV y sobre quién es el responsable de implementarlo ¹⁾. Para el año 2012, las modalidades de MRV de monitoreo para la REDD-plus estuvieron también bajo consideración por el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (SBSTA). Los datos de emisión de gases de efecto invernadero y remociones obtenidos por usar un MRV propiamente diseñado sería una base importante para la evaluación de la efectividad de las actividades de la REDD-plus.

Medición (ver P04)

Las actividades de la REDD-plus son evaluadas de acuerdo a los resultados en reducción y remoción de emisiones. Así, estas cantidades deben ser medidas. En monitoreo forestal, "medición" significa la medición continua y colección de datos de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero que guardan relación con el bosque y remociones por sumideros, reservas de carbono del bosque y cambios de área de bosque ²⁾.

De forma más específica, los países participantes de la REDD-plus deben medir periódicamente los cambios en cobertura forestal y emisiones o remociones por unidad de área cuando las actividades se están llevando a cabo de acuerdo con la guía proporcionada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), y calcular las emisiones totales de gases de efecto invernadero

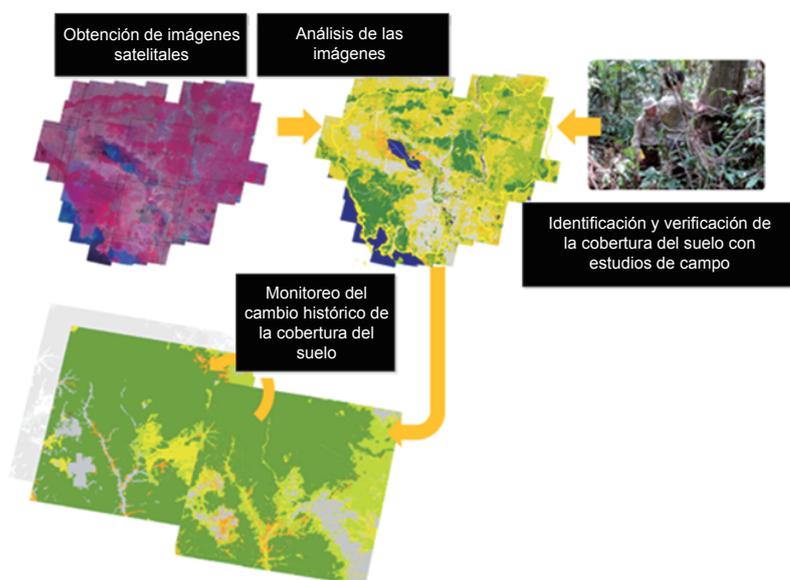


Figura I03-1 Medición del cambio en cobertura de bosque, emisiones y remociones por unidad de área de suelo

del bosque y las remociones a partir de los datos adquiridos. El sistema de medición debe transparente, consistente y preciso. Asimismo, debe minimizar la incertidumbre pero también ser viable para el país participante. En el futuro se presume que se requerirá "medición" también para las salvaguardas y otras funciones del bosque.

Reporte (ver P05)

El reporte significa proveer información sobre las emisiones estimadas de gases de efecto invernadero, sobre los métodos y procedimientos usados para determinarlos, y sobre el estatus y visión a futuro para las mediciones de reducción y remoción de emisiones por sumideros en concordancia con las formas y procedimientos prescritos. En marcos anteriores de reducción de emisiones, tales como los reportes nacionales bajo la UNFCCC y la CDM u otros esquemas de verificación voluntaria a nivel de proyecto, las formas y los procedimientos varían con el tema a ser reportado y el propósito del reporte. En cualquier caso, los reportes deben incluir toda la información necesaria para la verificación de tal forma que posteriormente no se necesite presentar información adicional. La UNFCCC ha obligado a las Partes a reportar un inventario nacional de gases de efecto invernadero en conformidad con los siguientes 5 principios: transparencia, consistencia, comparabilidad, integridad y precisión. Se supone que todos los reportes de las actividades de la REDD-plus

también deben requerir la conformidad con estos 5 principios. Transparencia es particularmente importante para los países en desarrollo, porque los datos históricos adecuados son frecuentemente escasos y la recolección de estos datos es difícil.

Verificación (ver P06)

Verificación significa revisar el contenido de los reportes y confirmar que los requerimientos especificados han sido cumplidos. A pesar de que los requerimientos y los procedimientos de la verificación se diferencian dependiendo del propósito y el objetivo de la medición, la verificación es esencial para asegurar la confiabilidad y calidad del sistema y el marco de reducción y remoción de emisiones por sumideros.

En particular, bajo el mecanismo de provisión de incentivos económicos o comercio de créditos (por ejemplo, la CDM o el sistema de crédito voluntario de carbono), la verificación es un proceso obligatorio de evaluación ex-post de la reducción de emisiones lograda por el proyecto por el cual la confiabilidad del crédito se asegura. En el proceso, se debe asegurar que el proyecto ha sido debidamente implementado de acuerdo al plan del proyecto. Para garantizar la imparcialidad de la verificación, ésta debe ser ejecutada por una tercera organización. Se presume que esto también se aplicaría cuando el REDD-plus se implemente bajo el UNFCCC.

Diseño del sistema de monitoreo forestal (ver I04)

Para que la estimación de crédito basado en MRV tenga la confianza de la comunidad internacional, el diseño del sistema de monitoreo forestal debe ser basado en acuerdos y reglamentos internacionales. El UNFCCC requiere que el monitoreo de bosques a nivel nacional sea conducido de acuerdo a las guía del IPCC.

Aún así, dado que no sólo los bosques sino también la situación política, económica y cultural son distintas para los países participantes de la REDD-plus, las circunstancias nacionales también necesitan ser consideradas en el diseño del sistema de monitoreo forestal. En particular, la soberanía nacional y políticas relacionadas con metas de desarrollo, desarrollo sostenible y salvaguardas necesarias (ver P03) necesitan ser tomadas en consideración.

El sistema de monitoreo forestal debería ser desarrollado considerando la capacidad del país que implemente la REDD-plus, pero si la capacidad de monitoreo de un país no es suficiente entonces se deben emprender acciones de construcción de capacidades.

Tal sistema no puede ser completado en un corto período de tiempo; debe ser desarrollado utilizando un enfoque flexible y progresivo para facilitar la preparación del país que se propone realizar la implementación (Enfoque por fases; ver P02).

Elementos a ser considerados en el diseño del sistema

Las personas involucradas en las actividades de la REDD-plus deben tener en mente los principios de imparcialidad y transparencia. Especialmente cuando los proponentes de la REDD-plus seleccionan e implementan las intervenciones de la REDD-plus (por ejemplo, cuando cambian el patrón de uso del suelo), la medición, reporte y verificación de los datos resultantes de estas actividades necesitan ser imparciales y transparentes. Adherirse a estos principios mostrará a los actores que sus intereses legítimos son consistentes con la REDD-plus y contribuirá a que confíen en el programa y en aquellos que están involucrados en su implementación.

Mas aún, incluso si un monitoreo de bosques y un sistema MRV está ya instalado, es poco probable lograr la meta última de la REDD-plus (mitigar el cambio climático) si los objetivos de las actividades de la REDD-plus no son conocidos por los actores. La REDD-plus no puede lograr la mitigación del cambio climático a bajo costo ³⁾, y los beneficios climáticos potenciales de la REDD-plus pueden no ser tan grandes como son a veces reportados ⁴⁾. Por lo tanto, es esencial que todos los actores trabajen juntos para lograr una mejor implementación de la MRV e intervenciones en REDD-plus más efectivas.

INFO

3) IPCC (2007) Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Metz. B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA . 851pp.

INFO

4) Harris NL, Brown S, Hagen SC, Saatchi SS, Petrova S, Salas W, Hansen MC, Potapov PV, Lotsch A (2012) Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. Science 336: 1573-1575.

Diseño del sistema de monitoreo forestal

La Receta anterior es

Receta I03 Medición, reporte y verificación (MRV) del monitoreo de bosques

El sistema de monitoreo de carbono en bosques para la REDD-plus debe cumplir con los acuerdos y reglamentos internacionales para ganar reconocimiento internacional. Por otro lado, dado que el sistema necesita tratar de forma efectiva los problemas individuales de cada país participante de la REDD-plus, es indispensable que las circunstancias individuales de cada país sean tomadas en consideración cuando el sistema es diseñado. Por lo tanto, es importante construir el sistema de forma progresiva y flexible considerando las capacidades del país en cuestión.

Cumplimiento con los acuerdos y reglamentos internacionales

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) requiere que los países en desarrollo usen los documentos guía más recientes y las guías del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GHGs) por fuentes y las remociones por sumideros en el bosque así como también los cambios en las reservas de carbono del bosque y área de bosques. También requiere el desarrollo de un sistema de monitoreo de bosques a nivel nacional o sub-nacional que sea robusto y transparente ¹⁾ (ver I01). Adicionalmente, el sistema debe (i) combinar sensoramiento remoto con inventarios de campo, (ii) proveer estimados que sean transparentes, consistentes y sean tan precisos como sea posible, y (iii) ser en sí mismo transparente, para que los resultados del monitoreo sea compatible con los procesos de reporte y verificación acordados por la Conferencia de las Partes (COP).

INFO

1) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

Las última guía de la IPCC a la fecha (2012) es la Guía del IPCC del año 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, el cual consiste de cinco volúmenes. Guías relevantes a la REDD-plus son discutidas en el Volumen 1 "Orientación general y generación de informes" y Volumen 4 "Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra". El sistema de monitoreo de bosques debe cumplir con cinco estándares los cuales son transparencia, integridad, consistencia, comparabilidad y



Figura I04-1 La Guía del IPCC del año 2006 para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero

precisión (ver I03) en los inventarios de gases de efecto invernadero especificados por las guías arriba mencionadas.

REDD-plus emitirá créditos de acuerdo a los resultados de reducción y remoción de emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, los países que implementen y participen en la REDD-plus deberán demostrar que los resultados de monitoreo de carbono en bosques son internacionalmente confiables y acatan todos los acuerdos y regulaciones necesarios. Para este propósito, el diseño del sistema de monitoreo de carbono en bosques debe incluir disposiciones para la medición de carbono en bosques (ver P04), reporte (ver P05) y verificación (ver P06).

Consideración de las circunstancias nacionales

Las circunstancias de los países que implementan la REDD-plus difieren cuando nos referimos sus tipos de bosque, políticas, economía y cultura. Por lo tanto, el diseño del sistema de monitoreo debe tener también en cuenta tales circunstancias. En particular, se deben cuidar la soberanía nacional, la consistencia con otras políticas nacionales tales como las metas de desarrollo, desarrollo sostenible, reducción de la pobreza y la aplicación de salvaguardas ²⁾.

Los países participantes de la REDD-plus son responsables de la identificación de los motores de la deforestación y degradación de bosques, el desarrollo de una estrategia nacional o plan de acción para la REDD-plus, el establecimiento de un nivel de referencia o nivel de emisión de referencia (ver P13) y el desarrollo de un sistema nacional de monitoreo de bosques ^{1),2)}. Si un país participante tiene ya implementado un inventario forestal nacional (NFI, ver T01), el nivel de referencia o el nivel de emisión de referencia puede ser establecido en base a los datos del inventario. Si ese no es el caso, se debe estimar la información histórica necesaria mediante el monitoreo retrospectivo con los datos que se encuentren disponibles, por ejemplo, imágenes satelitales. Países desarrollados pueden asistir con la formulación de éstos o, en el caso de que ya hayan sido formulados, con la implementación o mejora.

Mas aún, la capacidad de los países participantes de la REDD-plus y el potencial de construcción de capacidades deben ser tomados también en consideración (ver la sección siguiente).

Dado que los recursos, capacidades y el tiempo son limitados, los países participantes de la REDD-plus no siempre pueden tratar con todos los problemas al mismo tiempo. Para esto, es indispensable que los países desarrollados, cuando decidan ayudar, entiendan la situación exacta y las prioridades de los países participantes.

Capacidad de países implementadores y la posibilidad de operación sostenida

La mayoría de los países que participarían de la REDD-plus en el futuro no tienen

INFO

2) UNFCCC (2010) Decision 1/CP.16, FCCC/CP/2010/7/Add.1, UNFCCC

INFO

3) Hardcastle PD, Baird D, Harden V (2008) Capability and cost assessment of the major forest nations to measure and monitor their forest carbon: Penicuik, UK, LTS International Ltd.

INFO

4) Herold M (2009) An assessment of national forest monitoring capabilities in tropical non-Annex I countries: Recommendations for capacity building, The Prince's Rainforests Project and The Government of Norway

INFO

5) Danielsen F et al. (2011) At the heart of REDD+: a role for local communities in monitoring forests? Conservation Letters 4(2): 158-167

INFO

6) UNFCCC (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, UNFCCC

INFO

7) UNFCCC (2011) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, UNFCCC

INFO

8) Herold M, Skutsch MM (2009) Measurement, reporting and verification for REDD+ Objectives, capacities and institutions, in Angelsen, A. et al. eds., Realising REDD+ National strategy and policy options: Bogor, Indonesia, CIFOR, p. 86-100

aún la capacidad para ejecutar monitoreo básico, llamado Nivel 1 (ver P04) ^{3,4}). Más aún, el monitoreo básico del Nivel 1 es considerado como insuficiente para la implementación de la REDD-plus.

Por esto, se promueve la transferencia de tecnología desde países desarrollados para mejorar la preparación de los países de baja capacidad para la implementación de la REDD-plus. Para este propósito, es necesario proveer apoyo adecuado y sobre el cual pueden hacerse proyecciones, que puede incluir apoyo en recursos financieros así como también apoyo técnico y tecnológico. Adicionalmente, las tecnologías seleccionadas deben ser viables, tomando en consideración la infraestructura y nivel organizativo de cada país y el nivel de educación de su población. En muchos casos, las autoridades del gobierno no tienen un número suficiente de trabajadores de campo experimentados. Una solución es la de involucrar a las comunidades locales en actividades de monitoreo ⁵); el involucramiento de todos los actores también ayudaría a establecer las salvaguardas apropiadas.

Las negociaciones multilaterales en relación al financiamiento y créditos de la REDD-plus están aún en progreso y por lo tanto las especificaciones técnicas aún no han sido consolidadas. Sin embargo, el uso de sistemas de certificación voluntaria y créditos VER (Reducción Verificada de Emisiones) está incrementándose a nivel de proyectos (ver T04). El mecanismo bilateral de créditos de compensación (BOCM) es un mecanismo de mitigación similar a los sistemas de certificación a nivel de proyecto que el gobierno japonés está diseñando con una base de cooperación bilateral. Se debe consultar a la UNFCCC sobre los costos de tecnología para el monitoreo de carbono en bosques ⁶).

Construcción de una estructura gradual y flexible

Ha sido acordado entre las Partes que la estructura de implementación de la REDD de cada país participante debe ser consolidado de forma gradual, dado que las capacidades de los países que participarían son aún insuficientes y que el mecanismo de financiamiento de la REDD-plus aún no está en funcionamiento.

Un concepto de consolidación flexible y gradual es el enfoque por fases, por el cual el nivel de organización y capacidades de cada país es construido gradualmente (ver P02). Otro concepto es el enfoque paso a paso ⁷), en el cual la precisión de monitoreo es mejorado gradualmente al incorporar más y más datos y la pericia de los profesionales se incrementa mientras que un nivel de referencia y/o nivel de emisión de referencia (ver P13) puede ser establecido de forma preliminar utilizando los datos disponibles inicialmente.

Un sistema de monitoreo de bosques puede también ser expandido gradualmente de acuerdo a las prioridades de la REDD-plus, mientras se toma en consideración las circunstancias del país participante ⁸).



Planeamiento

3

Capítulo 3 Conocimientos básicos necesarios para la implementación de la REDD-plus



En el presente capítulo se dará una explicación sobre la definición de deforestación, degradación forestal y el "plus" en la REDD-plus, que son los términos básicos para realizar la implementación de la REDD-plus. Por otra parte, también se explicarán dos temas propuestos durante las negociaciones de la UNFCCC: el "Enfoque por Fases" usado para implementar la REDD-plus en forma gradual acorde con la situación y capacidades de cada país y "Salvaguardas" para evitar que la mitigación del cambio climático vía REDD-plus tenga efectos adversos sobre la sociedad local o indígena, el medio ambiente o la gobernanza del bosque.

- P01 Definición de bosque, deforestación, degradación forestal y el "plus" en la REDD-plus
- P02 Enfoque por fases
- P03 Salvaguardas

Definiciones de bosque, deforestación, degradación forestal y el "plus" en la REDD-plus

La Receta anterior es
 Receta 102 Conceptos clave de la
 REDD-plus

En la REDD-plus, se otorgan incentivos económicos por los resultados en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) provenientes de la deforestación y degradación forestal (proporción de REDD), conservación, manejo sostenible de los bosques y mejora de las reservas de carbono en los bosques ("plus" de la REDD-plus). Antes de estimar el volumen de emisión o reservas de carbono, es necesario definir "bosque", "deforestación", "degradación forestal", entre otros, pero en la negociación internacional sobre la REDD-plus aún no se ha llegado a definiciones concertadas. Se estima que las definiciones de "bosque" y "deforestación" se basarán en las definiciones dadas por el acuerdo de Marrakech ¹⁾, del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC) por lo que la explicación se dará en base a las mismas.

INFO

1) Acuerdos de Marrakesh: En la COP7, que tuvo lugar en Marrakech en el año 2001, se llegaron a acuerdos en reglas detalladas, tales como los mecanismos de Kyoto requeridos para implementar el Protocolo de Kyoto y las reglas para cumplirlo. La definición de "bosque" está en el artículo 3 y 4 y la "ARD (Por las siglas en inglés de forestación, reforestación y deforestación)" está definido en el Artículo 3 párrafo 3 del Protocolo de Kyoto.
 FCCC/CP/2001/13/Add.1 (http://unfccc.int/methods_and_science/lulucf/items/3063.php)

Bosque

En el acuerdo de Marrakech ¹⁾ se denomina bosque a aquel suelo cuya superficie mínima es entre 0,05 y 1,0 hectárea (ha) con una cobertura de copa (o una densidad de población equivalente) de 10 a 30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de 2 a 5 metros a su madurez in situ. El bosque puede estar cerrado, compuesto de diversos estratos en donde la vegetación de estratos bajos presentan una cobertura de gran proporción, o abierto. Los bosques jóvenes y todas las plantaciones cuya cobertura de copa aún no alcance el rango arriba indicado o una altura de 2-5 metros, son incluidos como bosques tal y como también lo son áreas que normalmente forman parte de las áreas de bosque y que temporalmente no cumplen con estos criterios como resultado de las actividades humanas o factores naturales, ya que se podría esperar su recuperación como bosque. Como en el mundo existen diversos tipos de bosques, cada país puede seleccionar valores más específicos de altura, porcentaje de cobertura de la copa y superficie mínima dentro de los rangos arriba indicados.

Deforestación

En el acuerdo Marrakech se define "Deforestación" como la conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierras no forestales. Cuando se pierden las condiciones para cumplir la definición de "bosque" para habilitación de tierras agrícolas, búsqueda de recursos subterráneos, desarrollo urbano, comunal y vial, se considera que hubo "Deforestación".

Degradación forestal

La degradación forestal indica la variación en la estructura o cambios que afecten el funcionamiento del bosque que a su vez reduzcan la capacidad de suministro de productos forestales y servicios ecológicos. La degradación forestal desde el punto de vista de otorgar incentivos contra la reducción de la emisión, se podría pensar como la reducción del volumen de almacenamiento de carbono en el bosque. Sin embargo, el volumen acumulado de carbono de los bosques puede variar, con las perturbaciones naturales que se producen de forma periódica, así como con la cosecha periódica en un bosque manejado. Hasta el momento, no existe un acuerdo internacional sobre la definición oficial de "degradación forestal".

El "plus" en la REDD-plus

En la 13^{ra} Conferencia de las Partes de la UNFCCC (COP13) se logró un acuerdo internacional para adicionar el "plus" (conservación, manejo sostenible de los bosques y mejora de las reservas de carbono en los bosques) en la REDD-plus. Asimismo, en el acuerdo de Marrakech se definió como "gestión de bosques" el sistema de prácticas para la administración y el uso de tierras forestales con el objeto de permitir que el bosque cumpla funciones ecológicas (incluida la diversidad biológica), económicas y sociales de manera sostenible. Sin embargo, esta definición aún no ha sido aceptada en consenso oficial, y cada país participante del Protocolo de Kyoto la interpreta de forma distinta de acuerdo a sus prácticas de gestión de bosques. Tampoco se ha llegado a un acuerdo internacional en las definiciones de conservación, manejo sostenible de los bosques y mejora de las reservas de carbono en los bosques, pero se esperan avances en estos temas en futuras deliberaciones.

Como se ha visto, las definiciones sobre "deforestación", "degradación forestal" y "plus", necesarias para la evaluación de los resultados de REDD-plus, no han sido establecidas en consenso oficial hasta la fecha (Julio de 2012). Para una implementación fluida de la REDD-plus, serían deseables unas definiciones simples, pero es alta la probabilidad de que se utilicen valores de norma diferentes según la condición del país que implementa este marco.

Bibliografía

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1. GOFC-GOLD

Enfoque por fases

La Receta anterior es

Receta I02 Conceptos clave de la REDD-plus

La REDD-plus tiene por objetivos reducir las emisiones y promover la absorción a través de medidas contra la deforestación por parte de los países en vías de desarrollo, medir, informar, y verificar (measurement, reporting and verification, MRV) dichos resultados relacionándolos con el nivel de referencia de emisión y nivel de referencia, y otorgar incentivos a los mismos. Por otra parte, al considerar su situación y capacidades tanto institucionales como técnicas, los países participantes se encuentran en diferentes niveles. El enfoque por fases hace más claro el proceso de preparación, indicando las etapas por las cuales deben pasar los países para finalmente realizar la implementación de la REDD-plus. El concepto de enfoque por fases aparece por primera vez dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), mediante el planteamiento de Papúa Nueva Guinea ¹⁾ dentro del taller REDD-plus celebrado en el encuentro de Accra del Grupo Ad Hoc de Trabajo (AWG) de Agosto de 2008; tal planteamiento consistía en que la implementación de la REDD-plus debería hacerse en 3 fases ¹⁾. Posteriormente a ello, el enfoque por fases está siendo considerado como uno de los elementos fundamentales de la REDD-plus. De aquí en adelante, haremos referencia al acuerdo de Cancún ²⁾ que es el cimiento actual para el análisis de la REDD-plus.

INFO

1) UNFCCC (2008) FCCC/AWGLCA/2008/CRP.5, UNFCCC

INFO

2) UNFCCC (2011) FCCC/CP/2010/7/Add.1, UNFCCC

Primera fase: preparación

Tal y como se establece en el Acuerdo de Cancún ²⁾, la implementación de la REDD-plus debe empezar "con el desarrollo de estrategias nacionales o planes de acción, políticas y medidas y construcción de capacidades (Figura P02-1)". Esto formará la base no sólo para una implementación exitosa de la REDD-plus sino también para abordar cualquier tema político; por lo tanto es vital que todos los países desarrollen estrategias apropiadas y planes en la Fase 1.

Una gran premisa para la elaboración de políticas y medidas dentro de la estrategia nacional o plan de acción para REDD-plus, será la consistencia con el objetivo de desarrollo de los países, plan de uso de tierra, plan forestal, entre otros. Si se elabora algo alejado con los mismos, implicaría crear confusiones en la etapa de implementación de REDD-plus, por lo que, para evitar estas situaciones, se hará indispensable la coordinación política con el sector gubernamental relacionado y con los actores interesados.

En el acuerdo de Cancún se establece que para la elaboración e implementación de la estrategia nacional o el plan de acción de REDD-plus, se deben atender las causas de la deforestación y degradación forestal, tenencia de la tierra, problemas de gobernabilidad forestal, consideración de género y salvaguardas, después de asegurar la participación de las partes interesadas incluyendo a la comunidad de aborígenes y comunidades locales (ver P03). Esto se convertirá en un factor indefectiblemente necesario para lograr las actividades de reducción a través de la REDD-plus.

Para la elaboración de estas políticas y la futura implementación, se hará necesaria

la construcción de capacidades. Para la construcción de capacidades es necesario determinar claramente dos aspectos: cuáles son los temas y quiénes son los sujetos de la capacitación. En cuanto a las temáticas, se podría pensar en temas técnicos como el sistema MRV, métodos de monitoreo, fijación de nivel de referencia, además de la capacidad de formulación de políticas, capacidad de hacer cumplir las leyes, entre otros. En cuanto a quiénes se debe dirigir la capacitación, se podría pensar en: a) la formación individual a expertos, y b) capacitación dirigida a organizaciones y/o actores que participan en la REDD-plus, de manera que estos puedan afrontar las diferentes temáticas. En cuanto a las organizaciones y/o actores, se podría suponer que en primer lugar estarían las instituciones del gobierno, pero el sector privado, empresas consultoras, ONG, entidades educativas, también son importantes y son sujetos para la construcción de las capacidades.

Es importante mencionar que la fase de preparación no debe ser entendida como un paso por el cual uno se "gradúa" para pasar a la segunda y tercera fase, sino como una fase que se debe mejorar e innovar de forma continua teniendo como base la REDD-plus (Figura P02-1).



Figura P02-1 Diagrama de flujo del enfoque por fases

Asistencia para la fase de preparación

Al ser la primera fase, la fase de preparación es el cimiento para la implementación de la REDD-plus, y debe ser mejorada e innovada de forma continua, pero presenta un gran reto en términos técnicos y financieros para que cada país en vías de desarrollo lo realice por su cuenta. Por ello, como marcos para una asistencia concreta, se hallan establecidos el Fondo de Preparación del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) implementado por el Banco Mundial (World Bank), el Programa de UN-REDD implementado por 3 entidades de las Naciones Unidas (FAO, UNDP y la UNEP),

con los cuales se asiste a la fase de preparación de los países en base a colaboración en recursos financieros y tecnología. En algunos países, ya se hallan elaboradas las estrategias nacionales y el plan de implementación de la REDD-plus junto con los cronogramas, presupuestos y entidades o países cooperantes incorporados por temática. Esto puede ser usado por otros países que inician la fase de preparación como bases de referencia útiles.

Además, se espera que los proyectos de asistencia técnica implementados por los países desarrollados, entidades internacionales vinculadas, ONGs, entre otros, sirvan de referencia o apoyo a cada componente de la REDD-plus. La JICA del Japón, GIZ de Alemania, USAID de EEUU, han acumulado conocimientos y experiencias a través de los proyectos de cooperación técnica en forma bilateral, las cuales deberían de ser aprovechados en forma eficiente.

Por su parte, los países avanzados están realizando anualmente un informe de inventario sobre la emisión y la absorción en el área de uso de la tierra, cambio de uso de tierra y silvicultura (LULUCF) como un deber para con el Protocolo de Kyoto bajo la UNFCCC (ver P05). Dichos informes manejan el volumen de emisión y absorción en los bosques, por lo que, técnicamente son similares al REDD-plus, y por contar con experiencia en las dificultades típicas del sector de uso de la tierra, muchos podrían ser de referencia.

Segunda fase: Implementación

En el acuerdo de Cancún, se establece una etapa siguiente a la fase de preparación mencionada como una etapa "para un mayor desarrollo de capacidad, desarrollo y transferencia de tecnología, y para implementar políticas y medidas nacionales, estrategias nacionales o planes de acción, incluyendo la actividad de demostración en base a los resultados". Se podría decir que es una fase de práctica en donde se estarían implementando las bases instaladas en la fase de preparación para preparar la fase de implementación plena.

En esta fase está incorporada la "actividad de demostración" como un nuevo elemento. Esta "actividad de demostración" apareció por primera vez en el "Plan de Acción de Bali", de la 13^{ra} Conferencia de las partes de la UNFCCC (COP13) ³⁾, y es considerada como: "Para reducir las emisiones provenientes de la deforestación y degradación forestal, tratar con las causas de la deforestación en relación a las circunstancias de cada país y buscar el aumento de la acumulación de carbono forestal mediante una gestión sostenible del bosque, de manera a atender las causas de la deforestación relacionada", y tal elemento se muestra en el anexo de dicho plan como "Orientación indicativa". Se espera que estos elementos sean contemplados y se implementen con el objetivo de permitir finalmente "actividades basadas en el resultado de la medición, reporte y verificación completa".

INFO

3) UNFCCC (2008) FCCC/CP/2007/6/Add.1, UNFCCC

En cuanto a la asistencia para la segunda fase de implementación, el fondo de carbono del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) implementado por el Banco Mundial será uno de los pilares principales. Adicionalmente, dentro de los proyectos de asistencia técnica bilateral implementado por los países desarrollados, se pueden observar algunos que contienen elementos de la segunda etapa tales como "los proyectos de demostración", por lo que se podría esperar que éstos se desarrollen e implementen

Tercera fase: Implementación plena

En el acuerdo de Cancún se establece que la fase final de la implementación de la REDD-plus sean "las actividades basadas en resultados suficientemente medidos, reportados y verificados". Se entiende que se tomará como cimiento los conocimientos y experiencias de la implementación de la fase de preparación y la fase de ejecución, para lograr la reducción de la emisión y absorción como resultados de las actividades, los cuales se miden, reportan y verifican. Siendo resultados con confiabilidad suficiente, se otorgarán los incentivos que se determinen.

En la actualidad, la mayoría de los países participantes están realizando las actividades de la fase de preparación o fase de implementación, y los países que llegaron a la fase final de implementación plena son pocos, sino ninguno. Además de las limitaciones en técnicas, datos, organizaciones y recursos humanos, en la REDD-plus existen dificultades que no tienen otros sectores tales como la industria, transporte, entre otros como la diferencia de volumen de crecimiento y especies por cada zona, el impacto del clima, entre otros, constituyéndose en los factores para el retraso de la implementación plena de la REDD-plus.

No existen recetas mágicas (panacea) para estas dificultades, pero considerando que el REDD-plus podría ser implementado desde los niveles sub-nacionales, ¿no debería ser considerado la posibilidad de invertir los recursos en forma concentrada en una determinada región, para buscar la implementación temprana a nivel sub-nacional, tomar la misma como un ejemplo promisorio y extender a otras regiones, para así buscar finalmente la implementación plena a nivel nacional?. Para este tipo de atención, la premisa será lograr el consenso a cierto nivel a través de la coordinación entre cada actor nacional interesado y entre los países y entidades cooperantes.

Salvaguardas

La Receta anterior es

Receta I03 Medición, reporte y verificación (MRV) del monitoreo de bosques

En la 16^{ta} Conferencia de las Partes (COP16) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), se acordó promover y apoyar las salvaguardas para la implementación de la REDD-plus, y se mostró la lista de las mismas. Especialmente en cuanto a la salvaguarda de medio ambiente y social, se solicita la atención de la misma mediante los proyectos de Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) del Banco Mundial y el programa UN-REDD, que se encuentran fuera del marco del UNFCCC. En el momento del debate oficial en la UNFCCC quedaron muchos puntos indefinidos sobre el contenido concreto de las salvaguardas, por lo que el Banco Mundial, programa UN-REDD, ONGs, entre otros, están elaborando normas básicas, normas, indicadores, guías voluntarias, etc.

¿Qué es una salvaguarda?

Una "salvaguarda" consiste en políticas y medidas para evitar los riesgos que afectarían el resultado de las medidas de mitigación del calentamiento global propias de las actividades de la REDD-plus (aumentar la emisión de gases de efecto invernadero en otra modalidad o lugar, o bien que el efecto de reducción de emisión o aumento de absorción termine en forma momentánea), además de prevenir los efectos negativos a la gobernanza de los bosques, medio ambiente y sociedad e incrementar los impactos deseables. Se pueden destacar las salvaguardas como una de las características de la REDD-plus.

Tratamiento de las salvaguardas dentro de la UNFCCC

En la COP16, con el Acuerdo de Cancún, se estableció que se debería promover y apoyar las salvaguardas y una lista fue presentada ¹⁾ (Tabla P03-1). El contenido del mismo, se extiende desde gobernanza forestal, sociedad, medio ambiente y clima ²⁾. Se trata de una lista de las consideraciones que estuvieron escritas en diversos sitios hasta la COP15, clarificándose las consideraciones que se deben tener en cuenta para la implementación de la REDD-plus.

Por otra parte, se solicitó a los gobiernos de los países en vías de desarrollo el diseño de un sistema que suministre la información de cómo se tomaron las medidas y cómo se respetaron las salvaguardas. Además, se solicitó a los gobiernos de los países en vías de desarrollo asegurar la participación plena y efectiva de los actores interesados relacionados tales como los pueblos nativos, los pueblos locales, entre otros, en el momento de desarrollo e implementación de las estrategias nacionales y planes de acción que emprendan las salvaguardas (Tabla P03-2).

INFO

1) UNFCCC (2011) Decision 1/CP.16, FCCC/CP/2010/7/Add.1, UNFCCC

INFO

2) Esta clasificación es usada aquí sólo por practicidad; no está basada en la UNFCCC

Tabla P03-1 Salvaguardas en el Acuerdo de Cancún
(UNFCCC, 2011 ¹⁾)

Salvaguardas	Clasificación ⁹
(a) Las acciones deben complementar o ser consistentes con los objetivos de los programas forestales nacionales, convenciones internacionales relevantes y acuerdos.	Gobernanza forestal
(b) Las estructuras de gobernanza forestal nacional deben ser transparentes, tomando en consideración la soberanía y legislación nacional.	
(c) Las acciones deben respetar el conocimiento y derecho de los pueblos indígenas y miembros de las comunidades locales mediante la toma en consideración de obligaciones internacionales relevantes, circunstancias nacionales, leyes, y teniendo en cuenta que la Asamblea General de las Naciones Unidas ha adoptado la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas.	Social
(d) Los actores relevantes, en particular los pueblos indígenas y comunidades locales, deben plenamente y efectivamente participar en las acciones referidas en los párrafos 70 y 72 de esta decisión.	
(e) Las acciones deben ser consistentes con la conservación de los bosques naturales y diversidad biológica, asegurándose que las acciones referidas en el párrafo 70 de esta decisión no sean utilizadas para la conversión de bosques naturales, sino para incentivar la protección y conservación de bosques naturales y sus servicios ecológicos, y para mejorar otros beneficios sociales y ambientales	Ambiental y social
(f) Deben llevarse a cabo acciones para enfrentar los riesgos de reversión	Clima
(g) Deben llevarse a cabo acciones para minimizar el desplazamiento de emisiones.	

* Observación: La "clasificación" no es de la UNFCCC sino, fue hecha por el autor por conveniencia.

Tabla P03-2 Párrafos relacionados con las salvaguardas en el Acuerdo de Cancún
(UNFCCC, 2011 ¹⁾)

Párrafo	
69	Afirma que la implementación de las actividades referidas en el párrafo 70 <i>infra</i> deben ser llevadas a cabo en conformidad con el apéndice I de esta decisión, y que las salvaguardas referidas en el párrafo 2 de ese apéndice deben ser promovidas y respaldadas.
71(d)	Solicita a las Partes que son países en desarrollo que apuntan a adoptar las actividades referidas en el párrafo 70 <i>supra</i> , en el contexto de un suministro de apoyo adecuado y previsible, incluyendo los recursos financieros y apoyo técnico y tecnológico a dichas Partes de acuerdo a las circunstancias nacionales y sus respectivas capacidades, para desarrollar los siguientes elementos: d) Un sistema que provea información en cómo se abordan y respetan las salvaguardas referidas en el apéndice I de esta decisión a través de la implementación de las actividades referidas en el párrafo 70 <i>supra</i> , respetando la soberanía en todo momento.
72	Solicitar a los gobiernos de los países en vías de desarrollo, que para el momento de la elaboración de estrategias nacionales y plan de acción de manera a encarar las causas de deforestación y degradación forestal, problemas de tenencia de tierra, gobernanza forestal, consideración de género, salvaguarda, se tome en cuenta la suficiente y efectiva participación de las personas involucradas y relacionadas tales como la comunidad indígena, local, entre otros.

Salvaguarda socio-ambiental

Dentro de las salvaguardas, la que está relacionada con la sociedad y el ambiente es especialmente tomada con atención, siendo analizada a través de diversos órganos, y en forma general es denominada como salvaguarda socio-ambiental.

En cuanto a las salvaguardas sociales, generalmente están consideradas tal y como se indican en la lista de salvaguardas de la Tabla P03-1, tales como: (c) Respeto a los conocimientos y derechos de los pueblos nativos y la comunidad local, (d) Participación plena y efectiva de los actores interesados, (e) Aumento de los beneficios sociales (y ambientales), además de las consideraciones de género y grupos vulnerables, aporte al desarrollo sustentable y reducción de la pobreza, entre otros, que están descritos en forma dispersa dentro del documento del Acuerdo.

En cuanto a la salvaguarda ambiental, la cual se muestra en la lista de salvaguardas de la Tabla P03-1, se prevé que las actividades de la REDD-plus sean consistentes con la conservación y la preservación de los bosques naturales y la biodiversidad, y que incremente y promueva la conservación de los bosques naturales y los servicios ecológicos así como otros beneficios ambientales (y sociales).

Sin embargo, dentro del documento de la UNFCCC, no existe una definición especial sobre el término salvaguarda socio-ambiental. Por otra parte, a pesar de

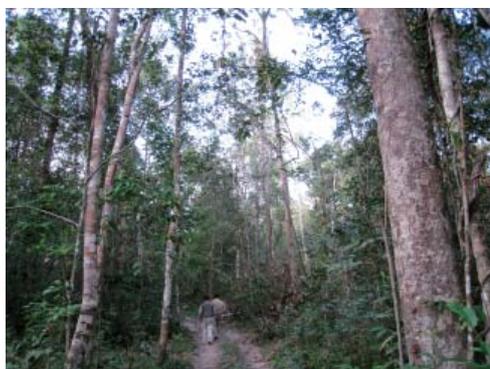


Figura P03-1 Manejo del bosque por la comunidad local
Arriba: Discusión sobre el manejo del bosque comunal
Abajo: Bosque comunal

tener como base lo anteriormente mencionado, el contenido muchas veces toma en cuenta aspectos importantes a criterio de cada organismo.

Efectividad e importancia de las salvaguardas

Con los esfuerzos invertidos para las salvaguardas, se puede esperar diversas ventajas para los que implementan las actividades de REDD-plus, tales como el crecimiento de la inversión nacional y extranjera por la reducción de riesgo político, implementación fluida de las actividades mediante la solución de los conflictos sociales, entre otros. También dentro de los proyectos de Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques del Banco Mundial y del Programa UN-REDD, que son emprendimientos voluntarios fuera del marco del UNFCCC, se establece la salvaguarda socio-ambiental como un aspecto obligatorio, y es muy probable que la atención a la salvaguarda socio-ambiental se torne obligatoria para la transacción de Créditos de Carbono y Compensación de Carbono que se genere en la REDD-plus.

Desafíos institucionales de las salvaguardas

En cuanto a los contenidos sobre cómo abordar las salvaguardas, éstos no están definidos concretamente dentro del UNFCCC debido a que la situación es diferente entre países y entre regiones. En la COP17 se ha elaborado la "Guía para el Sistema de Suministro de Información de Salvaguardas" en donde se definen grandes lineamientos ³⁾, pero no se ha clarificado cuales son los contenidos a ser reportados. Por ello, y en especial, en cuanto a la salvaguarda socio-ambiental, el Banco Mundial, el Programa UN-REDD y ONGs entre otros han elaborado de forma independiente los reglamentos básicos, normas, indicadores, guías, etc ⁴⁾. Por lo tanto, será necesario proceder el análisis de acuerdo a cada situación en particular, tomando como referencia estas iniciativas voluntarias a la par que se observan las tendencias de las discusiones sobre el tema.

INFO

3) UNFCCC (2012) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, UNFCCC

INFO

4) Muchos estándares están disponibles: "La evaluación estratégica ambiental y social (SESA)" por el Banco Mundial; "Principios y Criterios Sociales y Ambientales (SEPC) de la UN-REDD" por el programa de la UN-REDD; los "Estándares Ambientales y Sociales de la REDD-plus (REDD-plus SES)" y los "Estándares de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCBS)" por ONGs.

4

Capítulo 4 Medición, reporte y verificación de carbono en bosques



La medición de carbono en bosques es una parte vital de la implementación de la REDD-plus debido a que las reducciones y remociones de las emisiones de CO₂ que guardan relación con los bosques son estimadas por los cambios de carbono en bosques, y los créditos son también calculados mediante el uso de la cantidad de carbono en bosques. Esta receta explica qué es medido y cómo hacerlo, basándose en las decisiones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y la Guía del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) del año 2006.

- P04 Medición de carbono en bosques
- P05 Reporte de carbono en bosques
- P06 Verificación de carbono en bosques

Medición de carbono en bosques

La Receta anterior es

Receta I03 Medición, reporte y verificación (MRV) en monitoreo de bosques

La medición de carbono en bosques es una parte vital de la implementación de la REDD-plus debido a que las reducciones y remociones de las emisiones de CO₂ que guardan relación con los bosques son estimados por los cambios de carbono en bosques, y los créditos son también calculados mediante el uso de la cantidad de carbono en bosques. Esta receta explica qué es medido y cómo hacerlo, basándose en las decisiones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y la Guía del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) del año 2006.

INFO

1) Nivel 1: el nivel en el cual la cantidad de emisiones es medida (Guía del IPCC 2006). El Nivel 1 es el más básico y simple mientras que el Nivel 3 es el más complejo y requiere una gran cantidad de datos. El Nivel 2 es un nivel intermedio entre el 1 y el 3. Cuando la cantidad de emisiones de cierto sector de un país es un elemento central (por ejemplo la cantidad absoluta, tendencia o incertidumbre en la cantidad de emisiones en ese sector es notable), entonces se debe usar el Nivel 2 o Nivel 3. En la Agricultura, silvicultura y otros usos de tierra (AFOLU), los estimados de emisiones de Nivel 1 son hechos usando el método de pérdidas y ganancias y utilizando los factores de emisión por defecto de la IPCC. A Niveles superiores, las emisiones son estimadas usando el método de pérdidas y ganancias o el método de la diferencia de las reservas de carbono y los factores de emisión son determinados in-situ.

Para la REDD-plus, aún no ha sido decidido qué nivel debería ser usado para los estimados de las emisiones. Dado que los factores de emisión por defecto de la AFOLU tienen un alto grado de incertidumbres, algunos opinan que el Nivel 1 no debiera ser usado, y un descuento debería ser aplicado por usar los factores más conservativos de la AR/D CDM. Por otro lado, muy pocos países en desarrollo han tenido la capacidad de implementar la REDD-plus aún en el Nivel 1 (ver I04). Por esta razón el enfoque por fases, tomando en consideración la construcción de capacidades, es más viable para los países en desarrollo (ver P02).

¿Qué medir?

Las actividades de la REDD-plus son llevadas a cabo en los bosques, donde un "bosque" puede ser definido por cada país participante dentro de márgenes establecidos por la UNFCCC (ver P01). Para reducir la incertidumbre en la estimación de las emisiones se recomienda que el área total de bosque se divida en subclases de bosque dependiendo de la situación ecológica, legal, económica, cultural, etc. de cada país. Por ejemplo, la incertidumbre en la estimación de la reserva de carbono sería menor si se subdivide un bosque por tipo de bosque o por grado de perturbación y estimar la reserva de carbono en cada subclase, en lugar de hacer la estimación para toda el área de bosque en conjunto.

El uso de suelo en los bosques se divide en dos categorías: suelo manejado y suelo no manejado. "Suelo manejado" es el suelo donde se han aplicado prácticas e intervenciones humanas para realizar funciones ecológicas, sociales o de producción, y todo el resto del suelo es clasificado como "no manejado". A pesar de que la REDD-plus incluye el rol de la conservación por definición, una definición específica aún no ha sido establecida (ver P01).

Un componente del uso del suelo que almacene, absorba y/o emita carbono es llamado "reservorio". Para los bosques, han sido definidos cinco reservorios de carbono los cuales son: biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y la materia orgánica del suelo (ver T02). Los gases de efecto invernadero (GHGs) distintos al CO₂, tales como el CH₄ y el N₂O, son objeto de medición de acuerdo con el principio de integridad (ver I03). Sin embargo, el impacto de cada reservorio de carbono, y de acuerdo con el nivel de detalle del estudio, depende del tamaño del reservorio y los gases de efecto invernadero siendo medidos ¹⁾. En general, las mediciones de la biomasa aérea y subterránea requieren niveles de detalle alto dado que sus cambios afectan considerablemente a las emisiones y remociones de CO₂ de los bosques, mientras que niveles de detalle más bajo pueden ser considerados para otros reservorios dado que los efectos de sus cambios son relativamente bajos (ver T02).

¿Cómo medir?

La UNFCCC recomienda el uso de un enfoque que combine el sensoramiento remoto

e inventarios carbono forestal en campo para la estimación de reservas de carbono del bosque para la REDD-plus ²⁾.

Se dispone de dos métodos para la estimación del cambio de la cantidad de carbono de un reservorio de carbono en bosque: el método de pérdidas y ganancias y el método de diferencia de reservas (ver P07). En el método de pérdidas y ganancias, los incrementos (ganancias) y descensos (pérdidas) en la cantidad de carbono de un reservorio son primero estimados y sumados. Luego, su diferencia (ganancias menos pérdidas) es la cantidad de cambio de carbono del reservorio (ecuación P04-1). Por ejemplo, el incremento causado por el crecimiento natural de la biomasa, el descenso causado por el marchitamiento, y los incrementos y descensos causados por el cambio de uso de suelo son acumulados:

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L \quad (P04-1)$$

donde,

ΔC : Cambio anual de carbono en el reservorio (t-C/año)

ΔC_G : Incremento anual de carbono (t-C/año)

ΔC_L : Descenso anual de carbono (t-C/año)

En el método de diferencia de reservas, la cantidad de carbono en bosque es determinada para dos años diferentes, y la cantidad de cambio de carbono en bosque es estimado a partir de la diferencia de carbono en bosque entre los años elegidos (ecuación P04-2) (ver P07):

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (P04-2)$$

donde,

ΔC : Cambio anual de carbono en el reservorio (t-C/año)

C_{t_1} : La cantidad de carbono (t-C) en t_1 (año 1)

C_{t_2} : La cantidad de carbono (t-C) en t_2 (año 2)

La cantidad de reservas de carbono en un año determinado es calculado midiendo las reservas de carbono por unidad de área y luego multiplicando dicha cantidad por el área total de bosque (o subclase de bosque).

El método de pérdidas y ganancias puede ser usado para estimar biomasa en todos los niveles de detalle de estudio (niveles 1 al 3), mientras que el método de diferencia de reservas es usado solamente en los niveles 2 y 3 debido a que es más preciso en estimar cantidades de carbono relativamente grandes. Más adelante en este libro de recetas, el método de diferencia de reservas es descrito en detalle; P08 explica las estimaciones de área y cambio de área mediante el uso de sensoramiento remoto, mientras que P09 explica la estimación de reservas de carbono del bosque por unidad de área mediante mediciones de campo y/o métodos alternativos.

INFO

2) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

Reporte de carbono en bosques

La Receta anterior es

Receta I03 Medición, reporte y verificación (MRV) en monitoreo de bosques

Se entiende por "Reporte" la acción que consiste en proveer información sobre las actividades de mitigación y su rendimiento en un formato preestablecido para hacerlas comparables con actividades de otras iniciativas. La modalidad de "reporte" de las actividades de la REDD-plus bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) aún no ha sido acordada. En esta receta revisamos el estado de las negociaciones internacionales en el reporte de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GHG) a nivel nacional y se explican los requerimientos y consideraciones básicas requeridas para su reporte en el sector forestal.

¿Qué es "reporte"?

"Reporte", según el concepto que se maneja en MRV, es proveer información a ciertas organizaciones designadas sobre emisiones y remociones estimadas, métodos de estimación, procedimientos y sistemas incluyendo condiciones presentes y proyecciones futuras de acuerdo con las guías de reporte, formatos y procedimientos predefinidos. El reporte permite comparar reducciones y remociones de emisiones al mismo tiempo que refuerza la transparencia.

Los requerimientos de reporte son diferentes dependiendo si la REDD-plus es implementada a nivel nacional bajo la UNFCCC o a nivel de proyecto bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) o un esquema de certificación voluntaria. En esta sección se delinear los requerimientos de reporte para la implementación a nivel nacional.

Comunicados nacionales

El artículo 4 párrafo 1 del UNFCCC especifica que "todas las Partes, tomando en consideración sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus objetivos, circunstancias y prioridades de desarrollo nacional y regional, deben: (a) Desarrollar, actualizar periódicamente, publicar y poner a disposición de la Conferencia de las Partes, de acuerdo con el Artículo 12, inventarios nacionales de emisiones antropogénicas por fuentes y remociones por sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal usando metodologías comparables a ser acordadas por la Conferencia de las Partes, y (b) Formular, implementar, publicar y regularmente actualizar programas nacionales y, donde sea apropiado, regionales conteniendo medidas para mitigar el cambio climático que aborden las emisiones antropogénicas por fuentes y remociones por sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, así como también medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático".

El artículo 12 especifica la información que debe ser reportada y su calendario de entrega. Se le requiere a todas las Partes que entreguen un inventario nacional de gases de efecto invernadero y las mediciones relevantes para lograr el objetivo último de la Convención. Adicionalmente, se les requiere a las Partes del Anexo 1 incluir políticas relacionadas con el cambio climático y mediciones, proyecciones de gases de efecto invernadero y apoyo a las Partes no incluidas en el Anexo 1. Cada reporte es llamado "Comunicado Nacional" (NC). Las Partes del Anexo 1 deben entregar un comunicado nacional en 6 meses a partir de la entrada en vigencia de la Convención para dicha Parte, y las Partes que no están en el Anexo 1 deben entregar un comunicado nacional inicial dentro de tres años. La frecuencia de la presentación de comunicados posteriores debe ser determinado de acuerdo a la decisión de la COP 1).

Para Junio del 2012, la mayoría de las Partes del Anexo 1 presentaron su quinto o sexto comunicado nacional. La 16^{ta} Conferencia de las Partes (COP16) solicitó la entrega del sexto comunicado nacional para el 1ro de Junio del 2014. Entre las Partes que no están en el Anexo 1, 146 entregaron sus comunicaciones nacionales iniciales 2). En la COP aún se encuentra bajo discusión el calendario de presentación para otras partes que no están en el Anexo 1 y la necesidad de incrementar su nivel de capacidad para la entrega de comunicados nacionales.

La UNFCCC ha producido un manual de usuario 3) y una guía de recursos conteniendo instrucciones más detalladas en este procedimiento para facilitar la entrega de comunicados nacionales a las Partes que no están en el Anexo 1.

Inventario nacional de gases de efecto invernadero

Un inventario nacional de gases de efecto invernadero consiste en estimados de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero por sector. Las Partes que no están en el Anexo 1 deben presentar un inventario nacional como parte de su comunicado nacional.

De acuerdo con la guía de reporte para inventarios anuales de la UNFCCC, se les solicita a las Partes del Anexo 1 que presenten un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero el 15 de Abril de cada año, cubriendo emisiones y remociones de gases de efecto invernadero directos (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆) de seis sectores (Energía, Procesos Industriales, Disolventes, Agricultura, Uso de la Tierra – Cambio de uso de la Tierra y Silvicultura, y Desechos) para todos los años desde un año base o período hasta el año más reciente.

Bajo la UNFCCC, la guía de reporte para las Partes del Anexo 1, la presentación de los inventarios tienen dos partes:

- Formato de reporte común (CFR) 4). -Una serie de tablas de datos estandarizados conteniendo principalmente información numérica y presentada de forma electrónica.

INFO

1) Decision 17/CP.8 Guidelines for preparation of national communications from Parties not included in Annex I of the Convention:

UNFCCC (2003) Decision 17/CP.8, Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention, FCCC/CP/2002/7/Add.2

<http://unfccc.int/resource/docs/cop8/07a02.pdf#page=2>

INFO

2) Non-Annex I national communications : http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php

INFO

3) Reporting on Climate Change: user manual for the guidelines on national communications from non-Annex I Parties :

http://unfccc.int/files/essential_background/application/pdf/userman_nc.pdf

INFO

4) CRF of the LULUCF sector of Annex I Parties :

UNFCCC (2005) Decision 14/CP.11, Tables of the common reporting format for land use, land-use change and forestry

- Reporte de Inventario Nacional (NIR). -Una descripción amplia de las metodologías usadas para compilar el inventario, las fuentes de datos, la estructura institucional, la garantía de calidad y procedimientos de control.

La presentación de los inventarios es revisada por equipos de revisión conformada por expertos internacionales (ERTs) que se basan en guías de revisión acordadas.

El método de estimación debe estar basado la Guía del IPCC acordadas por la COP. Las Partes que no están en el Anexo 1 debe usar la Guía del IPCC del año 1996, y se les requiere a las Partes del Anexo 1 que usen la Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (GPG-LULUCF) publicada en el año 2003. Las partes del Anexo 1 que han hecho un compromiso de objetivo de reducción de emisiones bajo el Artículo 3 del Protocolo de Kyoto deben proveer información suplementaria relacionada a las emisiones y remociones de los gases de efecto invernadero en áreas sujetas a actividades bajo el Artículo 3, párrafo 3 y las actividades elegidas bajo el párrafo 4 del Protocolo de Kyoto ⁵⁾. La información suplementaria incluye la localización geográfica de los bordes de las áreas que incluyen áreas sujetas a actividades con relación al Artículo 3, párrafos 3 y 4, y una demostración de que estas actividades son antropogénicas. Revisiones a mayor nivel de profundidad son también conducidas por un equipo internacional de expertos de las Partes del Anexo 1 y aquellas que no pertenecen al Anexo 1 seleccionados a partir de una lista de expertos. Si se identifican deficiencias u omisiones en los reportes, las Partes que han presentado el reporte recibirán una "recomendación para mejorar". Si las Partes no pueden mejorar las partes indicadas antes de la fecha límite, un "ajuste" será llevado a cabo por el equipo de expertos de revisión. Si la cantidad de ajustes excede un nivel determinado, serán impuestas sanciones, incluyendo la suspensión de elegibilidad para el mecanismo de Kyoto.

INFO

5) UNFCCC (2007) Decision 6/CMP.3, Good practice guidance for land use, land-use change and forestry activities under Article 3, paragraphs 3 and 4, of the Kyoto Protocol

Consultas internacionales/Reportes de actualización bianuales y análisis

En el año 2010, las Partes acordaron en la COP16 que las Partes conformadas por países en desarrollo deben presentar comunicados nacionales cada cuatro años y reportes de actualización bianuales (BURs) ⁶⁾, que deben pasar a través de "Consulta Internacional y Análisis" (ICA), para promover las acciones de mitigación en dichos países basándose en "Acciones nacionales apropiadas de mitigación (NAMA)". Esto incluye reportes de inventarios, los pasos que los países están tomando para las acciones de mitigación y el apoyo que se necesita de las Partes conformadas por países desarrollados. La fecha de presentación y contenido de los reportes de actualización bianuales son determinados en base a la guía para reportes de actualización bianuales acordada en la COP17 en el año 2011. Las Partes conformadas por países en desarrollo deben presentar un reporte de actualización bianual inicial para Diciembre del año 2014, y debe ser actualizado cada dos años. Cada reporte

INFO

6) UNFCCC (2010) Decision 2/CP.17, Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, paragraph 39-44, UNFCCC biennial update reporting guidelines for Parties not included in Annex I to the Convention

de actualización bianual debe cubrir como mínimo el inventario anual más reciente dentro de un período de 4 años previos a la presentación del reporte, o por lo menos el inventario anual más reciente que se disponga y de forma subsecuente, los reportes de actualización bianual deben cubrir un año calendario que no preceda la fecha de entrega del reporte por más de cuatro años.

El inventario incluido en el reporte de actualización bianual debe ser calculado y reportado basándose en la guía del año 1996 del IPCC, GPG2000, GPG-LULUCF. Para el sector LULUCF se recomienda el uso del formato especificado en el capítulo 3 anexo 3 de la GPG-LULUCF⁷⁾.

La COP17 también llegó a acuerdos en la modalidad y guías para la Consulta Internacional y Análisis. El acuerdo especifica que la primera ronda de Consulta Internacional y Análisis debe ser conducida dentro de los primeros seis meses contados a partir de la fecha de presentación del reporte de actualización bianual inicial. También se establece que la modalidad y la guía⁸⁾ será revisada a más tardar en el año 2017 basándose en la experiencia ganada en la primera ronda de Consulta Internacional y Análisis. Las discusiones aún se encuentran en progreso sobre el equipo de expertos técnicos que harían la consulta.

INFO

7) Form: Chapter 3, Annex 3 in GPG-LULUCF :
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_Reporting_Tables.pdf

INFO

8) UNFCCC (2010) Decision 2/CP.17, Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, paragraph 56-62, Modalities and guidelines for international consultation and analysis

Requisitos para el reporte

Los requisitos para el reporte de la REDD-plus bajo medición, reporte y verificación (MRV) aún no han sido acordados. Por esto, una explicación detallada de los requisitos para el reporte no están incluidos en este capítulo. Se deben hacer un seguimiento cuidadoso de las discusiones futuras en el contenido y procedimiento de los comunicados nacionales y reportes de actualización bianuales, dado que éstos van a influenciar los requisitos para el reporte de la REDD-plus bajo MRV y el cómo se deben llevar a cabo las actividades de la REDD-plus en niveles de implementación nacional o de proyecto.

Son cinco los principios que son esenciales para el reporte de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero sin importar el nivel de implementación o si el país es desarrollado o en vías de desarrollo: Transparencia, precisión, comparabilidad, integridad y consistencia. Para asegurar que estos principios sean respetados en el reporte de carbono en bosques, es importante especificar rigurosamente todos los elementos del método de estimación utilizados (incluyendo la definición de bosques, la estratificación principal del bosque y los parámetros principales) y es importante el mantener la consistencia entre varios reportes.

A diferencia de otros sectores de emisión, la situación en el sector LULUCF varía mucho entre las Partes, en relación a aspectos específicos del medio ambiente natural y a la complejidad del ecosistema. Para un reporte confiable, es importante proveer información cuantitativa, incluyendo la relacionada a emisiones y remociones de gases de efecto invernadero, la situación económica y social, y el proceso de estimación, así como también la justificación para usar el método seleccionado tomando en consideración las diferentes circunstancias de cada país.

Verificación de carbono en bosques

La Receta anterior es

Receta I03 Medición, reporte y verificación (MRV) en monitoreo de bosques

La "verificación" en el contexto de la MRV de las emisiones y remociones de los gases de efecto invernadero es un procedimiento para evaluar y asegurar, desde un punto de vista independiente, la confiabilidad de los reportes de las estimaciones, y la suficiencia de los métodos, procedimientos y documentación. Este proceso es un pre-requisito para la evaluación de los efectos de la política basada en el inventario de gases de efecto invernadero y el comercio de los créditos producidos por los proyectos de reducción de emisiones. Sin embargo, la verificación está frecuentemente obstaculizada por la disponibilidad limitada de fondos, recursos humanos y datos. Tales limitaciones son particularmente pronunciadas en el sector forestal incluyendo la REDD-plus, en donde debe ser seleccionado un método de verificación que sea viable dentro de estas limitaciones, efectivo considerando la naturaleza del sector forestal, y que también logre sus propósitos. A pesar de que no se ha logrado un acuerdo internacional sobre la modalidad de verificación de las actividades de la REDD-plus, es probable que éste refleje las experiencias a partir de mecanismos precedentes de reducción de emisiones que guardan relación con los bosques tales como el mecanismo de desarrollo limpio (CDM), mientras que se toma en consideración las peculiaridades de la REDD-plus.

¿Qué es la verificación?

En general, la "verificación" es definida como "un proceso para confirmar que los requerimientos especificados son cumplidos con la presentación de evidencia objetiva". La verificación es esencial tanto para el caso de datos reportados de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) como para el caso de reportes a nivel de proyecto bajo la CDM y otros sistemas de créditos de carbono voluntario. Sin embargo, los requerimientos y procedimientos de verificación varían de acuerdo al propósito de los cálculos reportados y la estructura del reporte.

Para el reporte del inventario nacional de gases de efecto invernadero bajo la UNFCCC, la verificación se lleva a cabo usando procedimientos de control de calidad (QC) y aseguramiento de la calidad (QA) por parte de aquellos directamente involucrados en el cálculo o por una tercera parte. La idoneidad de los datos y parámetros de la actividad seleccionada y el método de estimación son evaluados mediante comparaciones con otros sets de datos y/o inventarios presentados por países vecinos. Por otro lado, bajo un mecanismo de comercio de créditos tal como el CDM o un sistema de crédito de carbono voluntario, la verificación es parte de un proceso de evaluación ex-post que confirma las reducciones de emisiones que el proyecto ha logrado y la confiabilidad de los créditos de carbono. Esta verificación debe ser hecha por una tercera parte para confirmar que el proyecto ha sido conducido de acuerdo a como está prescrito en el plan del proyecto.

Requerimientos y procedimientos de la verificación

Al llevar a cabo la verificación, lo importante es saber los requerimientos y procedimientos especificados por el esquema de reporte designado. La verificación de los reportes de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero se basa en la guía del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Guía del IPCC del año 2006, volumen 1, capítulo 6; QA/QC y Verificación) o la Orientación sobre buenas prácticas del IPCC (Orientación sobre buenas prácticas del IPCC, manejo de la incertidumbre en inventarios de gases de efecto invernadero y gases de efecto invernadero para uso de la tierra cambio de uso de la tierra y silvicultura (GPG-LULUCF)). En el caso de la CDM, la verificación se basa en la modalidad y procedimiento acordados por la COP y un manual reconocido por la mesa directiva del CDM. Si es un marco a nivel de proyecto que asume comercio de créditos, la verificación debe ser basada en la guía respectiva establecida por cada marco de comercialización de créditos junto con la guía de la IPCC. El Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (ETS) y el Estándar Voluntario de Carbono (VCS) ha desarrollado guías específicas para la verificación que cumpla con estándares internacionales tales como la ISO14064-3, establecida por la Organización Internacional de Estándares (ISO). En muchos casos, bajo el sistema desarrollado para el propósito de comerciar créditos, el sistema de certificación conforme a la ISO14065 es usado para asegurar la habilidad de las terceras partes que conducen la verificación.

Enfoque básico para la verificación en el sector forestal

La estimación de las reducciones y remociones de emisiones para la verificación están basadas en la guía del IPCC. Dado que para la verificación existe la disponibilidad de recursos técnicos y financieros limitados, se deben establecer prioridades para elegir el objetivo y enfoque de la verificación. Para el reporte del inventario nacional de gases de efecto invernadero, el criterio principal es la relevancia: en la verificación son evaluados los resultados del análisis de la categoría clave y la incertidumbre de cada categoría y gas de efecto invernadero, y son priorizados los puntos con mayor relevancia o incertidumbre (ver P12).

Los enfoques deben ser seleccionados en base no solo a su viabilidad o idoneidad tomando en consideración las circunstancias nacionales o regionales sino también en el grado de interés, costo, el nivel de precisión requerido, complejidad en el planeamiento e implementación del enfoque de verificación y en el nivel requerido de experticidad.

Enfoques aplicables para la verificación del sector LULUCF son: (1) comparación con otros inventarios y sets de datos independientes, (2) comparación parcial o completa con las estimaciones obtenidas en estudios de nivel de detalle más altos, (3)

medición directa, (4) sensoramiento remoto y (5) creación de un modelo (IPCC GPG-LULUCF).

(1) y (2) son los métodos más comúnmente utilizados ya que ellos pueden ser llevados a cabo relativamente a bajo costo y no requieren de tecnología o conocimiento especial mientras se disponga de un set de datos independiente. Los costos, recursos humanos y experticia requeridos para (3), (4) y (5) varían significativamente dependiendo del método de implementación. La aplicabilidad de los enfoques de verificación para la determinación de superficie, identificación de reservorios de carbono y gases en el sector LULUCF es indicado en la Tabla 5.7.1 de la GPG-LULUCF.

Verificación de las actividades de la REDD-plus

En lo que respecta a la modalidad de verificación de las actividades de la REDD-plus, aún no se ha logrado un consenso internacional, pero su verificación es indispensable para asegurar la confiabilidad e imparcialidad dado que los incentivos financieros son proporcionados en base a los logros en la reducción y remoción de emisiones. Es probable que la verificación sea conducida por una tercera parte para los esfuerzos a nivel de proyecto destinados al comercio de créditos, basada en la experiencia ganada por la CDM u otro sistema de certificación voluntaria de crédito.

Los criterios de verificación para la REDD-plus aún no han sido decididos. Discusiones posteriores establecerán el diseño del futuro sistema de verificación de la REDD-plus basado en la experiencia in-situ y mediante la consideración de los siguientes puntos:

- ¿Que nivel de implementación es introducido? ¿Nacional, sub-nacional o nivel de proyecto?
- ¿Los límites han sido propiamente determinados (área del proyecto, área de referencia, cinturón de fuga, etc)?
- ¿Se han usado el escenario y datos apropiados para establecer las líneas de base (niveles de referencia) tomando en consideración los motores de deforestación y degradación del bosque?
- ¿Se ha desarrollado de forma apropiada el sistema de monitoreo (incluyendo la participación de indígenas y comunidades locales)?

Futuras discusiones se enfocarán también en la efectividad de las actividades de reducción de las emisiones tales como la conservación de bosques, impactos en ecosistemas (especialmente los que tienen un efecto socio económico y sobre la biodiversidad), y cómo las salvaguardas son abordadas y respetadas.

Tabla P06-1 Aplicabilidad de los enfoques de verificación para la identificación de áreas de suelo y para los reservorios de carbono y gases de efecto invernadero distintos del CO₂
(extracto de GPG-LULUCF 5.7.1)

	Enfoque 1 Comparación con inventarios u otros sets de datos independientes	Enfoque 2 Aplicación de un Nivel superior	Enfoque 3 Medición directa	Enfoque 4 Sensoramiento remoto	Enfoque 5 Modelación
Superficie del suelo	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	No aplicable	Adecuado	No aplicable
Reservorio de carbono					
Biomasa aérea	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	Adecuado (necesita de datos de campo)	Adecuado (modelo de regresión, modelo ecológico, modelo de crecimiento).
Biomasa subterránea	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	No aplicable	Adecuado (modelo de regresión, modelo ecológico, modelo de crecimiento).
Madera muerta	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	No aplicable	Aplicable (modelo ecológico, modelo basado en inventario).
Hojasasca	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	No aplicable	Aplicable (modelo ecológico, modelo basado en inventario).
Carbono en suelo	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	No aplicable	Aplicable (modelo ecológico).
Gas distinto a CO ₂	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	No aplicable	Aplicable (modelo ecológico).
Coefficiente de emisión	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	No aplicable	Aplicable (modelo ecológico).
Informe de volumen de actividades / Base de suelo					
Uso de suelo para bosque, pastura, tierra agrícola, otros.	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	Adecuada. Especialmente para identificar cobertura de suelo/uso de suelo y sus cambios.	Adecuado. Requiere de muchos datos. Se puede aplicar como un enfoque alternativo en el caso que no se pueda realizar observación directa y sensoramiento remoto.
Nuevas reforestaciones, reforestaciones, reducción de bosque, actividades del proyecto	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado si hay datos disponibles	Adecuado (requiere de muchos recursos)	Adecuada. Especialmente para identificar cobertura de suelo/uso de suelo y sus cambios.	No realista.

Bibliografía

International Standardization Organization (2005) ISO9000:2005

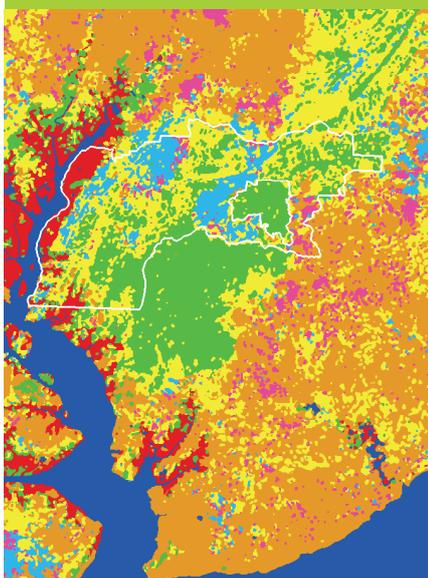
IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>

5

Capítulo 5 Monitoreo mediante el método de diferencia de reservas



El método de diferencia de reservas involucra la medición de reservas de carbono en bosques en dos momentos diferentes en el tiempo y determinar su diferencia. El método requiere de dos estimaciones: área de bosque estimada y estimación de la reserva de carbono por unidad de área de bosque. La estimación del área se logra al aplicar tecnología de sensoramiento remoto. La reserva de carbono por unidad de área puede ser estimada mediante el método de la parcela permanente de muestreo (PPM) o mediante el uso de un modelo de estimación de las reservas de carbono de una masa forestal. En este capítulo se hacen introducciones generales del método de diferencia de reservas, estimación del área y estimación de reservas de carbono por unidad de área, seguidas por explicaciones más detalladas sobre el método de la PPM que tiene una alta probabilidad de implementación técnica, y se presentarán 4 modelos de estimación de las reservas de carbono en los bosques que se espera se desarrollen en el futuro. Luego se describe el cálculo de las reservas de carbono y sus cambios debido a emisiones, remociones y sus circunstancias para luego finalmente discutir sobre el establecimiento de niveles de referencia y niveles de emisión de referencia en base a la tendencia histórica en emisiones y remociones.

- P07 Método de diferencia de reservas
- P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto
- P09 Estimación de las reservas de carbono por unidad de área
- P10 Método de la parcela permanente de muestreo
- P11 Método del modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa forestal
- P12 Cálculo de las emisiones y remociones de carbono
- P13 Nivel de emisión de referencia y nivel de referencia

Método de diferencia de reservas

La Receta anterior es

Receta P04 Medición del carbono en bosques

En el método de diferencia de reservas, como el nombre lo sugiere, la cantidad de emisiones y remociones es determinada a partir del cambio de las reservas de carbono en momentos diferentes en el tiempo. Este método es robusto y transparente, y puede ser aplicado extensamente. En esta receta se definen y explican los parámetros "área de bosques" y "reserva de carbono por unidad de área", los cuales son parámetros que son usados por el método de diferencia de reservas.

INFO

1) IPCC (2006) Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

INFO

2) UNFCCC (2009) Reducing emissions from deforestation in developing countries: approaches to stimulate action. FCCC/SBSTA/2009/L.19/Add.1

INFO

3) Además del bosque, otras categorías incluyen suelo cultivado, pasturas, humedales, asentamientos y otros.

INFO

4) IPCC (2006) Chapter 3: Consistent Representation of lands. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

¿Qué es el método de diferencia de reservas?

En la guía del IPCC del año 2006 se presentan dos métodos para calcular cambios en las reservas de carbono (biomasa del bosque): El método de pérdidas y ganancias calcula los cambios de la reserva de carbono tomando la diferencia entre los incrementos y disminuciones en las emisiones como se describe en P04, mientras que en el método de diferencia de reservas ¹⁾ se determina el cambio en reservas carbono (el cual refleja las emisiones y remociones) a partir de la diferencia en las reservas de carbono medidas en diferentes momentos en el tiempo.

El método de pérdidas y ganancias requiere datos precisos sobre las reservas de carbono perdidas por tala y perturbación forestal, los cuales son usualmente difíciles de conseguir. Por este motivo, el método de diferencia de reservas es más ampliamente aplicable.

A nivel nacional, el uso combinado del sensoramiento remoto y el inventario en campo puede determinar de forma efectiva los cambios en las reservas de carbono ²⁾. En las siguientes sub-secciones se explican la estimación del área de bosque a partir de datos de sensoramiento remoto y la estimación de las reservas de carbono por unidad de área mediante el inventario en campo.

Estimación del área (ver P08)

Para estimar la cantidad de reservas de carbono en un bosque, el área de bosque debe ser conocida. Los bosques conforman una categoría de uso del suelo ³⁾, pero el área de bosque es usualmente convertida a otro uso de suelo mientras que otra categoría de uso de suelo puede ser convertida a bosque por reforestación. Estas categorías y sub-categorías pueden ser estratificadas por clima, suelo, zona ecológica y sistema de manejo ⁴⁾.

Tres enfoques (los cuales difieren en cómo tratan las conversiones entre categorías de uso de suelo) son usados para representar áreas de categorías de uso de suelo ⁴⁾.

- Enfoque 1: Área total de uso de suelo, sin datos en conversiones entre usos de suelo.
- Enfoque 2: Área total de uso de suelo, incluyendo los cambios entre usos de suelo.
- Enfoque 3: Datos de conversión de usos de suelo espacialmente explícitos.

En el enfoque 1, las áreas totales de todas las categorías de uso de suelo domésticas son determinadas, pero las conversiones entre las categorías no son consideradas. Las conversiones entre las categorías son revisadas en el enfoque 2, y en el enfoque 3 estas conversiones son revisadas sistemáticamente usando información espacial detallada ⁵⁾. En práctica, dos o tres enfoques pueden ser usados en combinación.

Sin importar cuál de estos enfoques es usado, un método debe ser seleccionado para obtener datos de uso de suelo. Datos específicos en relación al uso de suelo pueden ser obtenidos a partir de tres fuentes ⁴⁾.

- Bases de datos preparados para otros propósitos
- Muestreo
- Inventario completo de usos de suelo

Así, la primera fuente de datos es información existente (mapas e información estadística) ⁶⁾. En mención a la segunda fuente, si los datos existentes no son suficientes, nuevos datos pueden ser tomados mediante el muestreo. El diseño del muestreo puede usar estratificación basada en datos auxiliares y muestreo sistemático ⁷⁾. En cuanto a la tercera fuente, un inventario completo puede ser llevado a cabo periódicamente para desarrollar mapas de uso de suelo para todo el país. Las tecnologías de sensoramiento remoto hacen viable la adquisición de tal información de mapeo ⁸⁾.

Estimación del cambio en área de bosque

Los cambios en el área de bosque puede ser detectada mediante la comparación de áreas de bosque estimadas usando sensoramiento remoto en dos momentos diferentes en el tiempo si se emplean uno de los siguientes dos métodos ⁹⁾:

- Detección del cambio post-clasificación
- Detección del cambio pre-clasificación

La detección del cambio post-clasificación involucra la clasificación de usos de suelo por separado de imágenes de sensoramiento remoto adquiridas en dos momentos diferentes en el tiempo. La detección del cambio pre-clasificación involucra el uso de imágenes antiguas y nuevas para detectar los cambios de uso

INFO

5) En el enfoque 3, para obtener información espacial más explícita, la región objetivo fué dividida en celdas de cuadrícula o polígonos pequeños. Los métodos están descritos brevemente en el IPCC GPG Volumen 4 Capítulo 3, Anexo 3A.4 ⁴⁾.

INFO

6) A nivel nacional, la información disponible en uso de suelo en bases de datos nacionales e internacionales debe ser revisada de antemano. Una base de datos internacional está listada en el IPCC GPG Volumen 4, Capítulo 3; sin embargo, al usar esta información, uno debe tener en consideración las diferencias en las definiciones en resolución y categorías de uso de suelo.

INFO

7) Este método de muestreo es descrito en el IPCC GPG Volumen 4, Capítulo 3, Anexo 3A.3 ⁴⁾.

INFO

8) El inventario basado en campo es requerido para verificar los resultados de la clasificación obtenidos con datos de sensoramiento remoto.

INFO

9) Singh A (1989) Digital change detection techniques using remotely sensed data. Int J Rem Sens 10: 989-1003

de suelo. Los resultados obtenidos por estos dos métodos pueden ser distintos, por lo tanto para seleccionar el método más apropiado es necesario entender sus diferencias (ver T11).

Estimación de la reserva de carbono por unidad de área (ver P09)

Las reservas de carbono por unidad de área pueden ser estimadas básicamente de dos formas: la primera es empleando parcelas permanentes de muestreo (PPMs) y la segunda involucra el uso de un modelo de estimación de reservas de carbono de masas forestales ¹⁰. Aquí se describen de manera simple cinco métodos de los cuales 4 son basados en modelos de estimación indirecta:

- Parcelas permanentes de muestreo
- Modelo de altura del estrato superior
- Modelo del diámetro de copa
- Modelo de la edad de la comunidad
- Coeficiente de retrodispersión (Radar de Apertura Sintética)

Cada método tiene ventajas y desventajas, y son aplicables bajo diferentes condiciones. Un inventario de campo usando parcelas permanentes de muestreo tiene la ventaja de que puede ser usado para detectar cambios de uso de suelo, tales como la conversión a campos de cultivo y tala selectiva, y que monitorear reservas de carbono de bosques en una área extensa por un período de tiempo. Para una medición a nivel nacional, sin embargo, muchas parcelas permanentes de muestreo son necesarias ^{11),12)} (ver P10).

Estimación del cambio en las reservas de carbono (ver P12)

El cambio en las reservas de carbono se calcula con la siguiente fórmula (método de diferencia de reservas):

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (P07-1)$$

ΔC = Cambio anual de la reserva de carbono en el reservorio (t-C/año)

C_{t_1} = Reserva de carbono en el reservorio en el tiempo t_1 (t-C)

C_{t_2} = Reserva de carbono en el reservorio en el tiempo t_2 (t-C)

Esta fórmula simple no toma la estratificación del bosque en consideración. En la práctica, la cantidad de reservas de carbono en cada punto del tiempo es calculada

INFO

10) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P Tith B, Ito R, Siregar C.A, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. JARQ 45(2): 233-242

INFO

11) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. Biotropica 42(4): 410-419

INFO

12) Samreth V, Chheng K, Monda Y, Kiyono Y, Toriyama J, Saito S, Saito H, Ito E (2012) Tree biomass carbon stock estimation using permanent sampling plot data in different types of seasonal forest in Cambodia. JARQ 46(2): 187-192

mediante la clasificación (es decir, mediante la estratificación) del bosque en la región objetivo (a nivel nacional o sub-nacional) de acuerdo con el régimen de clima, tipo de bosque y prácticas de manejo de la tierra. Luego, se determina el área, la reserva de carbono por unidad de área y el producto de ambos (reservas de carbono) para cada estrato y los resultados son sumados. Así, el cambio en las reservas de carbono se determina como sigue:

$$\Delta C = \sum_{ijk} \left[\frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \right]_{ijk} \quad (\text{P07-2})$$

en donde los índices i, j y k representan clima, bosque y tipos de manejo.

Cuando se estiman las reservas de carbono, la incertidumbre debe ser también evaluada y reducida tanto como sea posible. Las distintas definiciones y deficiencias en el diseño de muestreo y en la toma de muestras introducen incertidumbre en la estimación del cambio del área usando imágenes satelitales ⁴). Cuando las PPMs son usadas para la estimación de reservas de carbono, la incertidumbre depende mucho de cuántas parcelas han sido instaladas y dónde han sido instaladas.

Bibliografía

- Köhl M, Magnussen SS, Marchetti M (2006) Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. Springer-Verlag
- Ravindranath NH, Ostwald M (2008) Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Springer-Verlag

Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

La Receta anterior es

Receta P07 Método de diferencia de reservas

La estimación de las áreas de tipos de coberturas de suelo y/o tipos de bosque por sensoramiento remoto consiste en una serie de procesos y análisis que van desde la selección de los datos apropiados hasta el resumen de los resultados. En esta receta se explican los siguientes tópicos de sensoramiento remoto: tipos de datos, software, pre-procesamiento, la definición de las clases, los métodos de clasificación, datos "ground truth", evaluación de la precisión de clasificación y los métodos de estimación del área.

Tipos de datos de sensoramiento remoto y software (ver T05)

Los sensores ópticos son los sensores más comunes para observar la superficie de la tierra, pero otros tipos de sensores están también disponibles tales como el Radar de Apertura Sintética (SAR) que puede penetrar nubes, o la tecnología de Detección Aérea de Luz y Medidas de Rangos (LiDAR) el cual puede medir la altura del árbol y/o la altura del dosel del bosque.

La resolución espacial y temporal son características importantes de los datos de sensoramiento remoto sin importar el tipo de sensor. La resolución espectral es característica cuando se habla de sensores ópticos.

Las fuentes de datos deben ser seleccionadas considerando su propósito y métodos de uso, el costo y la precisión esperada de sus productos.

Pre-procesamiento de datos (ver T06)

Los datos duros de sensoramiento remoto pueden tener varias distorsiones. En consecuencia, éstos deben ser pre-procesados antes del análisis para corregir distorsiones atmosféricas y geométricas introducidas en el momento de la adquisición de los datos. La corrección atmosférica reduce el impacto de las condiciones atmosféricas en la señal reflectiva, y la corrección geométrica modifica la imagen para adaptarla a la proyección del mapa.

Adicionalmente, es usualmente difícil obtener imágenes de la superficie de la tierra que no están parcialmente cubiertas por nubes en las áreas de bosques lluviosos tropicales. Para crear imágenes libres de nubes, partes sin nubes deben ser extraídas de otras imágenes adquiridas y procesadas en un mosaico. Este procedimiento requiere correcciones para las diferencias de radiación solar. Más aún, es probable que las imágenes usadas para construir el mosaico y crear un mapa de distribución de bosque a nivel nacional hayan sido adquiridas en diferentes fechas del año. En áreas donde el bosque pasa por cambios estacionales (por ejemplo, la defoliación natural de especies caducifolias) se puede llevar a cabo el procesamiento respectivo para reducir la influencia de estas diferencias.

Estos procedimientos pueden ser considerados como pre-procesamiento en el sentido amplio de la palabra.

Definición de las clases (ver T07)

Las clases de cobertura de suelo y tipo de bosques de un país deben ser definidos para reflejar el régimen de manejo forestal, características ecológicas y diferencia de biomasa. Además, éstas deben ser mutuamente excluyentes las unas con las otras y colectivamente exhaustivas sin superponerse con otras clases. Cuando los datos de sensoramiento remoto son usados para la clasificación, las definiciones de las clases deben tener en consideración la precisión y resolución de estos datos y al mismo tiempo éstos no deben contradecir los criterios existentes de clasificación de bosque.

"Ground Truth" (ver T08)

Se llama "Ground Truth" a los datos de campo en cobertura del suelo, tipos de bosque y biomasa forestal tomados con el propósito de asistir el análisis de los datos de sensoramiento remoto (Figura P08-1). Estos datos pueden ser usados como datos de entrenamiento en el proceso de clasificación o como datos de verificación para evaluar los resultados de la clasificación. Los datos "Ground Truth" pueden ser tomados usando un muestreo aleatorio o muestreo estratificado. El muestreo estratificado es usualmente preferible cuando los recursos económicos o humanos son limitados. Otra consideración es la posibilidad de acceso limitado a algunas partes del bosque, lo cual puede llevar a sesgos si se da el caso de seleccionar sitios de estudio de difícil acceso lo que llevaría a la toma de pocos datos.



Figura P08-1 Confirmación de las coordenadas geográficas en la toma de datos "Ground Truth"

Método de clasificación (ver T09)

La clasificación es un proceso por el cual los datos son divididos mediante métodos estadísticos de acuerdo a sus características. El proceso de clasificación puede ser "no supervisado" o "supervisado". En la clasificación "no supervisada", los datos de sensoramiento remoto son clasificados por agrupamiento ("clustering") usando sólo características estadísticas de la información espectral. Cada grupo o "cluster" es identificado mediante la comparación con los datos "Ground Truth". En la clasificación supervisada, las características espectrales son obtenidas de los datos de sensoramiento remoto usando los datos "Ground Truth" como datos de entrenamiento y los métodos estadísticos son usados para asignar los datos a una clase.

La clasificación de los datos de sensoramiento remoto puede ser basada en píxeles u objetos. En la clasificación basada en objetos, la imagen es dividida en objetos usando información de color y forma, siendo éstos luego clasificados usando la información espectral y la de textura dentro de cada objeto. En éste tipo de clasificación, la computadora produce las líneas de los límites entre los objetos, obteniéndose de forma eficiente un resultado similar a la interpretación visual (Figura P08-2)

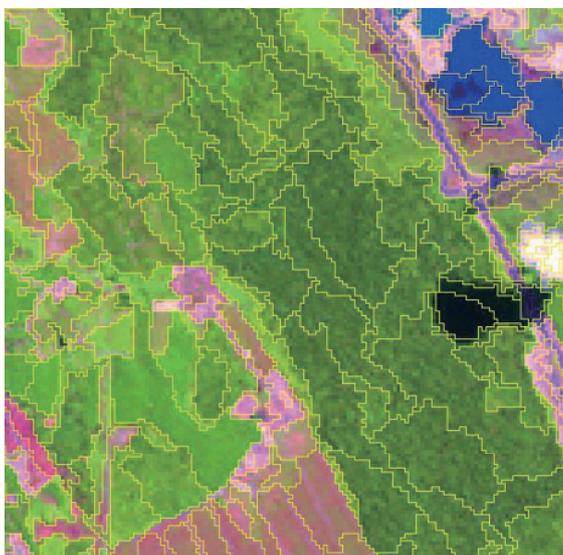


Figura 08-2 Clasificación basada en objetos usando imágenes Landsat

Verificación de la precisión de los resultados de clasificación (ver T10)

La validez de los resultados de clasificación debe ser verificada. Esto se logra con la creación de una matriz de error a partir de datos de verificación obtenidos por datos

"Ground Truth". La precisión total, la precisión del usuario, la precisión del productor y el coeficiente Kappa son usualmente utilizados como índices de precisión. Para la verificación de la precisión se necesitan por lo menos 50 muestras por clase. Los sesgos en la estimación del área son evaluados y corregidos usando una matriz de error.

Estimación del cambio de área de bosque (ver T11)

Tal y como se describe en P07, el cambio en el área de bosque puede ser vislumbrada ya sea a través de la comparación de imágenes clasificadas (método de post-clasificación) o a través de la comparación de las mismas antes de ser clasificadas (método de pre-clasificación). En la post-clasificación, la clasificación de cada imagen es llevada a cabo de forma independiente, para luego identificar los cambios en donde las clases no se muestran de forma idéntica en las dos imágenes con fecha de adquisición distintas. Los pseudo-cambios debido al registro impreciso de la imagen o los límites ambiguos de una clase deben ser corregidos. En la pre-clasificación, existe el problema de que es difícil realizar la interpretación y el trazado del resultado debido a que se analiza de una vez todos los patrones de variación entre las clases y aquellas clases cuya área no experimentó cambio alguno.

Bibliografía

- Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW (2007) Remote Sensing and Image Interpretation, sixth edition. Wiley
- McCoy RM (2005) Field Methods in Remote Sensing. Guilford Press
- Alexander R, Millington AC (2000) Vegetation Mapping. Wiley

Estimación de las reservas de carbono por unidad de área

La Receta anterior es

Receta P07 Método de diferencia de reservas

Para las mediciones de Nivel 2 y Nivel 3 se necesita recolectar información sobre las reservas de carbono de forma periódica a nivel nacional. Cuando el método de diferencia de reservas es utilizado para estimar los cambios en el tiempo de las reservas de carbono, el parámetro de "reservas de carbono por unidad de área" puede ser estimado con mediciones en parcelas permanentes de muestreo o con modelos de estimación de reservas de carbono de la masa forestal. En esta receta se hace una descripción sencilla de cada uno de esos dos métodos de estimación.

INFO

1) Los resultados estimados son expresados como biomasa de bosque (t/ha) y debe ser convertido a reserva de carbono de bosque (t-C/ha) multiplicando el valor de la biomasa del bosque por el factor de contenido de carbono (0.5).

Recursos asequibles (ver T03)

La estimación de la cantidad de reservas de carbono por unidad de área ¹⁾ se puede hacer con dos métodos: un método que mida directamente la cantidad de carbono en el bosque y un método que mida indirectamente la cantidad de carbono usando un modelo de estimación. La selección de la ubicación de los sitios de estudio, el número de puntos a ser estudiados, y el nivel de experticidad de los individuos que conducen el estudio de campo y el análisis afectan al estimación sin importar el método que se escoja. Aquí, para simplicidad de la explicación, se referirá como "recursos" la información útil y las técnicas para la estimación precisa de las reservas de carbono.

Algunos países ya han llevado a cabo estudios de bosque y suelo como parte de un inventario forestal nacional o proyecto local. La información de tales estudios pueden ser un recurso importante para la estimación de las reservas de carbono. Por ejemplo, la información del tipo de uso del suelo y tipo de bosques, la cual es necesaria para la aplicación del método de diferencia de reservas, puede ser obtenida a partir de información existente sobre suelos, vegetación y zonas climáticas. Los datos sobre el diámetro de los árboles y especies obtenidas de la actividad de producción de madera también son recursos que pueden ser usados para estimar las reservas de carbono por unidad de área de bosque. La información sobre deforestación y degradación de bosques, la cual es usada para la simulación de tendencias de cambio de la superficie boscosa, también puede ser usada para asistir en la selección de lugares para establecer parcelas permanentes de muestreo (PPMs) o en el diseño de esquemas de muestreo temporales para los modelos de estimación de las reservas de carbono en masas forestales. Adicionalmente, los equipos de proyectos que han manejado estudios de bosque en el pasado pueden ayudar a establecer un grupo de trabajo en actividades REDD.

Cada uno de los métodos de estudio que han sido propuestos tienen ventajas y desventajas (Tabla P09-1). La metodología seleccionada debe tener en consideración los recursos disponibles en el área del proyecto.

Medición directa de las reservas de carbono (método de la parcela permanente de muestreo) (ver P10)

Para medir directamente las reservas de carbono es necesario establecer parcelas permanentes de muestreo en el bosque y determinar las especies de árboles que crecen en ellas así como también sus tamaños individuales y poblaciones. El establecer parcelas permanentes de muestreo

y conducir las mediciones necesarias son actividades intensas de trabajo que son viables sólo si las áreas son accesibles al equipo que conduce el estudio. Sin embargo, los métodos y las herramientas usadas para este tipo de estudio son simples y los datos adquiridos son altamente precisos.

Medición indirecta de las reservas de carbono (método del modelo de estimación de la masa forestal) (ver P11)

Hay un conjunto de métodos de estimación indirecta de reservas de carbono. Éstos son útiles especialmente cuando el estudio de campo por sí mismo es difícil de llevar a cabo debido a la accesibilidad. Los métodos indirectos usualmente involucran un intercambio entre el costo del equipo necesario y la precisión del análisis. Las reservas de carbono pueden ser estimadas por la edad de la masa forestal en el caso de masas de bosque homogéneas en donde el número de individuos por unidad de área es ya conocido y en donde las especies, edad del bloque y tamaño del árbol son uniformes tal y como es el caso de plantaciones madereras. En otros casos, los parámetros de la masa de bosque medibles remotamente tales como la altura del estrato superior, el diámetro de la copa, la edad de la comunidad o el coeficiente de retrodispersión (datos SAR), pueden ser usados en tales modelos indirectos. Hay opciones en cuanto a los datos de sensoramiento remoto tales como imágenes satelitales o fotografías aéreas, dependiendo de las circunstancias del país y/o área objetivo.

Bibliografía

Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P Tith B, Ito R, Siregar CA, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human

Tabla P09-1 Matriz de opciones de métodos para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicos de bosques bajo varias formas de intervención humana (basado en Kiyono et al., 2011)

Método de determinación	Condición necesaria	Costo	Dificultad de obtención de datos para superficies extensas	Dificultad técnica	Posibilidad del método para la estimación de volumen de emisión de gas de efecto invernadero por cada actividad humana				Posibilidad de mejoramiento de la precisión de estimación mediante la participación de la población local
					Cambio a tierra de cultivo	Disminución de periodo de barbecho de la agricultura de corte y quema	Tala	Extracción de leña	
Parcela permanente de muestreo	Medición por estudio de campo	Alto	Difícil	Existe límites en la representatividad y confidencialidad	Posible	Posible	Posible	Posible	Alta
	Interferometría polarimétrica SAR	Bajo	Medio	Está en etapa de prueba y existen pocos ejemplos	?	?	?	Imposible	Baja
	LiDAR aéreo	Alto	Difícil	Ninguna en especial	Posible	Posible	Posible	Imposible	Baja
Altura de la comunidad	Sensor estereoscópico satelital	Medio	Fácil	No puede usarse en imagen con nubes. No existen ejemplos.	?	?	?	Imposible	Baja
	Medición en campo	?	Difícil	No existen ejemplos. Aplicable a pequeñas partes del globo.	Posible	Posible	Posible	Imposible	Alta
Edad de la comunidad	Imagen satelital de resolución alta y media	Medio	Fácil	Posible aplicar en terrenos que periódicamente se convierten en tierra desnuda, ejemplo: agricultura con quema	Imposible	Posible	Imposible	Imposible	Baja
Diámetro de copa	Imagen satelital de resolución alta o foto aérea	Alto	Medio	No puede usarse en imagen con nubes. En algunos tipos de bosque es difícil determinar el diámetro de copa	Posible parcialmente	Imposible	Posible parcialmente	Imposible	Baja
Coefficiente de retrodispersión	SAR de longitud de onda mayor a la banda L	Bajo	Medio	Difícil aplicar en pendientes pronunciadas. Difícil de aplicar en bosque de alta biomasa.	Posible parcialmente	Posible parcialmente	Imposible	Imposible	Baja

* Este cuadro no puede ser aplicado en bosques húmedos (bosques de turba y manglares)

Método de la parcela permanente de muestreo

La Receta anterior es

Receta P09 Estimación de las reservas de carbono por unidad de área

Un sitio de inventario en campo es llamado parcela permanente de muestreo cuando el diámetro del árbol a altura de pecho (DAP) y altura son medidos con una frecuencia pre-determinada para seguir los cambios en el bosque. En esta receta se da una explicación acerca del número de parcelas y consideraciones para su ubicación requeridas por el método de estudio seleccionado, de otras consideraciones en cuanto al diseño y medición en una parcela permanente de muestreo, y de los métodos de estimación de reservas de carbono en una parcela permanente de muestreo.

INFO

1) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. *Biotropica* 42(4): 410-419

Número requerido de parcelas permanentes de muestreo y sus ubicaciones (ver T12)

Para estimar las reservas de carbono de forma eficiente en un área extensa (nivel nacional o sub-nacional) se debe determinar de forma apropiada el número y localización de las parcelas permanentes de muestreo de acuerdo al método de estudio del muestreo usado. Cuando la población es suficientemente grande, el número requerido de parcelas permanentes de muestreo (n) puede ser obtenido con la siguiente fórmula ¹⁾:

$$n \geq \left(\frac{t \cdot CV}{E} \right)^2 \tag{P10-1}$$

en donde E es el porcentaje de error permisible (la mitad del ancho del intervalo de confianza dividido por el valor promedio de la reserva de carbono), CV es el coeficiente de variación y t es la estadística t para un nivel de significancia de la distribución t de 5% con ($n - 1$) grados de libertad. Así, si E disminuye o CV se incrementa, el número de parcelas permanentes de muestreo (n) se incrementa. Por ejemplo, para el inventario forestal nacional llevado a cabo en Japón en el año 1961, n fue calculado para $E = 3\%$, $t = 2$, $CV = 150\%$, como sigue:

$$n \geq \left(\frac{2 \times 1.5}{0.03} \right)^2 = 10000 \tag{P10-2}$$

Por lo tanto, el número requerido de parcelas fue de 10 000. Para determinar un valor apropiado de CV se requiere de información previa de todo el bosque o de cada tipo de bosque. Su selección debe estar basada en los resultados de un estudio piloto o en experiencias pasadas.

Para prevenir que las parcelas permanentes de muestreo se concentren en ubicaciones de fácil acceso como áreas cercanas a carreteras o villas, las parcelas deben ser establecidas mediante el uso de un método de resamplio aleatorio simple ²⁾ o un método de muestreo sistemático. Más aún, un método de muestreo estratificado ²⁾, en el cual el número de sitios de muestreo y sus localizaciones por categoría de bosque son decididos de antemano sobre la base de los datos de sensoramiento remoto, puede mejorar la eficiencia del estudio de muestreo.

INFO

2) Gibbs KH, Brown S, Niles OJ, Foley AJ (2007) Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ Res Lett* 2: 045023

Diseño y medición de las parcelas permanentes de muestreo (ver T13)

Las parcelas permanentes de muestreo deben ser diseñadas para mejorar la eficiencia de las mediciones de campo. Generalmente, las parcelas permanentes de muestreo son circulares o rectangulares. En muchos casos, una parcela consiste en compartimentos anidados de diferentes tamaños ³⁾. Por ejemplo, las parcelas permanentes de muestreo en Japón son organizadas en una cuadrícula de 4 km y cada una consiste en tres círculos concéntricos con radios de 5.64, 11.28 y 17.84 m, en los que el diámetro mínimo de medición es de 1.0, 5.0 y 18.0 cm de diámetro respectivamente ⁴⁾.

Dado que las mediciones son llevadas a cabo por muchos años, es imperativo el instalar señales en la entrada de las parcelas y a lo largo de los límites de la parcela (Figura P10-2), poner placas de aluminio con el número respectivo de cada árbol medido y marcar la altura de pecho en cada árbol ⁵⁾. Más aún, dado que las placas numeradas para los árboles usualmente se caen, es necesario elaborar un mapa mostrando las posiciones de todos los árboles en pie. Además, para minimizar el error de la medición se requiere de un manual de medición detallado y de ejercicios previos de medición conducido por expertos ^{4),5)}.

Análisis de los datos de las parcelas permanentes de muestreo (ver T14)

La reserva de carbono contenida en un árbol es calculada como la mitad de su biomasa ³⁾. La biomasa puede ser estimada a partir de los datos de medición de una parcela permanente de muestreo ⁶⁾ con el uso de una ecuación alométrica que relacione la biomasa (incluyendo ramas y hojas) del árbol con su DAP o con ambas, su DAP y su altura. Ecuaciones alométricas han sido creadas para varias regiones y especies de árboles (o grupos de especies). Las ecuaciones desarrolladas por Brown ⁷⁾ y Chave et al. ⁸⁾ son usualmente empleadas para los árboles en los trópicos.

La biomasa puede ser también estimada usando factores de expansión de biomasa (BEFs) ⁶⁾. Un factor de expansión de biomasa es un coeficiente que relaciona el volumen seco (m^3) (el cual ha sido obtenido desde años atrás por métodos generales de inventario forestal) con la biomasa incluyendo hojas y ramas. Este factor describe la proporción de biomasa por unidad de volumen seco (Mg/m^3). Los factores de biomasa también han sido determinados para varias áreas y especies (o grupos de especies).

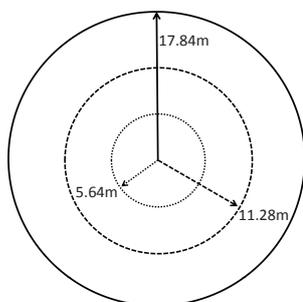


Figura P10-1 Diseño de parcela utilizada por el Inventario Forestal Nacional de Japón. Las parcelas son distribuidas con una cuadrícula de 4km de intervalo



Figura P10-2 Cartel que señala una parcela en Cambodia

INFO

3) Pearson T, Walker S, Brown S (2005) Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank

INFO

4) Kitahara F, Mizoue N, Yoshida S (2009) Evaluation of data quality in Japanese National Forest Inventory. Environ Monit Assess 159: 331-340

INFO

5) Kitahara F, Mizoue N, Yoshida S (2010) Effects of training for inexperienced surveyors on data quality of tree diameter and height measurements. Silva Fennica 44: 657-667

INFO

6) Brown S (2002) Measuring carbon in forests: current status and future challenges. Environ Pollut 116: 363-372

INFO

7) Brown S (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. FAO Forestry Paper 134. FAO

INFO

8) Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure J-P, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéa B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145: 87-99

Método de modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa forestal

La Receta anterior es

Receta P09 Estimación de las reservas de carbono por unidad de área

Además del método de la parcela permanente de muestreo (P10), las reservas de carbono por unidad de área pueden ser estimadas con el uso de un modelo de estimación de las reservas de carbono para una masa forestal. Han sido propuestos muchos modelos con diferentes parámetros y por ende diferentes enfoques de estimación de reservas de carbono. En esta receta, se explica la suposición que implica el uso de un modelo de estimación de la reserva de carbono y las características de diferentes modelos basados en la altura del estrato superior, diámetro de la copa, edad de la comunidad y el coeficiente de retrodispersión (SAR).

INFO

1) Los modelos discutidos aquí son principalmente para estimar las reservas de carbono de la biomasa aérea y subterránea. No todos estos métodos son adecuados para estimar los tamaños de otros reservorios de carbono tales como la madera muerta y la hojarasca. Por lo tanto, para estimar las reservas de carbono de estos otros reservorios se necesita de un estudio de campo.

INFO

2) Mascaro J, Asner GP, Muller-Landau HC, Breugel Mv, Hall J, Dahlin K (2011) Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama. *Biogeosciences* 8: 1615-1629

INFO

3) Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ETA, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL, Hagen S, Petrova S, White L, Silman M, Morel A (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *PNAS* 108: 9899-9904

Determinación y verificación del modelo

El método de la parcela permanente de muestreo (ver P10 y el Capítulo 8) permite la fácil detección de la deforestación y la degradación del bosque debido a los cambios de uso de suelo (por ejemplo, la conversión a áreas cultivadas o perturbación por tala selectiva) y es muy flexible dado que puede ser usado sin importar el tipo de bosque o vegetación. Sin embargo, la REDD-plus requiere de datos de alta precisión, lo que significa que una gran cantidad de parcelas deben ser establecidas incrementando inevitablemente el tiempo, esfuerzo y costo del método. Por lo tanto, puede ser una opción efectiva el uso de una técnica de estimación indirecta de las reservas de carbono por unidad de área que use una ecuación que relacione las reservas de carbono con algún parámetro cuyo valor pueda ser obtenido sin un estudio de campo. Sin embargo, los estimados del modelo deben ser verificados en su precisión por un estudio de campo para satisfacer los requerimientos de Medición, Reporte y Verificación (MVR) de la REDD-plus. Para llegar al nivel de precisión deseado, el diseño del estudio de campo y la selección del modelo deben tomar en consideración el costo de la adquisición de los datos y el número de muestras necesarias para el modelo (ver T15).

En las secciones siguientes se describen de forma sencilla los modelos de estimación de las reservas de carbono de la masa forestal con diferentes parámetros (es decir, la altura del estrato superior, el diámetro de copa, la edad de la comunidad o el coeficiente de retrodispersión) ¹⁾.

Método de la altura del estrato superior (ver T16)

El método de la altura del estrato superior estima las reservas de carbono por unidad de área asumiendo que la altura del estrato superior es directamente proporcional a la biomasa ^{2),3)}. La información de la altura del estrato superior es adquirida a partir de inventarios de campo o mediante el uso del sensoramiento remoto (LiDAR aéreo, interferometría polarimétrica SAR, o sensores estereoscópicos satelitales). El costo de la implementación y el tamaño del área de medición varían ampliamente y dependen del sensor usado. De acuerdo con estudios anteriores, la relación matemática entre la altura del estrato superior y la biomasa es usualmente estable. Tampoco se observan diferencias significativas en dicha relación entre diferentes tipos de bosques de una misma área. Se necesitan datos de altura de los árboles a partir de estudios de inventarios forestales para la creación de la ecuación que permita tal relación matemática. La precisión en la medición de tales datos y el número de muestras usadas es también importante.

Método del diámetro de copa (ver T17)

El método del diámetro de copa estima las reservas de carbono por unidad de área asumiendo que la biomasa de un árbol se incrementa de forma exponencial con el diámetro de su copa ⁴⁾. La información de los diámetros de las copas de los árboles es obtenida mediante el uso de fotos aéreas o imágenes de satélite de alta resolución. Los costos de implementación son altos y el sensor usado es afectado por las nubes, pero la degradación forestal causada por la tala selectiva de árboles de gran diámetro puede ser detectada y cuantificada. Dado que el método depende de la visibilidad de la copa, éste es apropiado para bosques con árboles de gran diámetro o bosques abiertos, pero no para bosques secundarios jóvenes o bosques de bambú. Más aún, las imágenes de satélite dan información sobre los diámetros de las copas de los árboles del estrato superior únicamente; la biomasa de los árboles de estratos inferiores debe ser estimada por separado.

INFO

4) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P, Tith B, Ito E, Siregar CA, and Matsumoto M. (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. *JARQ* 45: 233-242

Método de la edad de la comunidad (ver T18)

El método de la edad de la comunidad estima las reservas de carbono por unidad de área usando la edad de la comunidad asumiendo que la biomasa de la comunidad se incrementa monotónicamente con la edad de la comunidad ⁵⁾. La distribución temporal y espacial de las edades pueden ser estimados mediante la detección de la aparición de áreas desnudas usando series de tiempo de imágenes de sensoramiento remoto obtenidas con sensores de mediana a alta resolución (ver T05). Dado que una área desnuda es asumida como el origen de la edad de una comunidad, la falla en detectar suelo desnudo con imágenes de una serie temporal reduce directamente la precisión del método; así, un monitoreo ejecutado por lo menos una vez al año es requerido. El costo del método es moderado. Para sistemas de uso de suelo en las que el suelo es limpiado para reestablecer la comunidad, como la agricultura de corte y quema o plantaciones de caucho, este método es muy efectivo. En tales usos de suelo, la frecuencia de limpieza total a través del tiempo es muy importante para el promedio de las reservas de carbono de una masa forestal.

INFO

5) Inoue Y, Kiyono Y, Asai H, Ochiai Y, Qi J, Olioso A, Shiraiwa T, Horie T, Saito K, Dounagsavanh L (2010) Assessing land-use and carbon stock in slash-and-burn ecosystems in tropical mountain of Laos based on time-series satellite images. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 12(4): 287-297

Método del coeficiente de retrodispersión

El método del coeficiente de retrodispersión estima la biomasa aérea por unidad de área a partir del coeficiente de retrodispersión (σ^0 , unidades: dB) obtenida por SAR. El coeficiente de retrodispersión se incrementa monotónicamente con la biomasa aérea, permitiendo la generación de una curva de saturación para la biomasa aérea. Por este motivo es difícil realizar la estimación en masas boscosas con reservas medias a altas con una ecuación de estimación simple por lo que la relación debe ser determinada empíricamente ⁶⁾. La radiación de las micro-ondas SAR pasa a través de las nubes; por lo tanto, este método es particularmente útil en regiones cubiertas por las nubes durante todo el año ⁷⁾. Las micro-ondas de longitud de onda larga son ventajosas para los bosques; los costos de su implementación son bajos y es fácil comparar múltiples escenas, además de ser excelente para la estimación de biomasa en áreas extensas. Por otro lado, el análisis no es sencillo debido a que la estructura de la masa forestal, la topografía, humedad del suelo, condiciones de superficie del suelo y la reflexión múltiple afecta el resultado de los análisis; aparte de existir un número de problemas técnicos que deben ser superados.

INFO

6) Carreiras J, Vasconcelos MJ, Lucas RM (2012) Understanding the relationship between aboveground biomass and ALOS PALSAR data in the forests of Guinea-Bissau (West Africa). *Remote Sens Environ* 121: 426-442

INFO

7) Ju J, Roy DP (2008) The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. *Rem Sens Environ* 112: 1196-1211

Estimación de volumen de emisión

La Receta anterior es

Receta P07	Método de diferencia de reservas
Receta P08	Estimación de área mediante el sensoramiento remoto
Receta P09	Estimación de las reservas de carbono por unidad de área

En esta receta se explica un método para el cálculo de las reservas de carbono y sus cambios (emisiones y remociones). Para mejorar la confiabilidad de un sistema de crédito de carbono, es importante reducir la incertidumbre de los valores calculados ¹⁾. Aquí se explica también un método para combinar las incertidumbres ²⁾ con ejemplos de cálculo basados en datos de muestreo.

INFO

1) La incertidumbre del valor promedio calculado aquí es el porcentaje de la diferencia entre el valor máximo del intervalo de confianza (95%) y el valor del promedio en relación al valor promedio. Si se asume una distribución normal, entonces la diferencia entre el 95% del máximo del intervalo de confianza y el valor promedio μ corresponde a 1.96 veces la desviación estándar, mientras que la incertidumbre U (%) se calcula del estimado promedio μ y la desviación estándar σ con la siguiente fórmula.
 $U = 100 \times (1.96 \times \sigma) / \mu$

INFO

2) En lugar de combinar las incertidumbres, la incertidumbre también puede ser evaluada por el método de Monte Carlo. En este caso, la incertidumbre es estimada mediante la simulación de la distribución estadística de la observación utilizando números generados al azar por computadora y calculando el intervalo de confianza del 95% de la distribución. Con los datos de la Tabla P12-1, los valores $\Delta C = -622.5$ t-C/año, y $U_{\Delta C} = 30.9$ fueron obtenidos por 10 000 iteraciones.

Cálculo de las reservas de carbono y de los cambios en las reservas de carbono

En el método de diferencia de reservas, las reservas de carbono (t-C) son obtenidas mediante la multiplicación del área de bosque (ha) con la reserva de carbono por unidad de área (t-C/ha). Las reservas de carbono del área total del proyecto en un tiempo determinado son determinadas con el cálculo del producto de las reservas de carbono por unidad de área y el área ocupada por un tipo de bosque para luego efectuar la sumatoria de los resultados para todos los tipos de bosque:

$$C_t = \sum_{i=1}^n (A_i \times C_i) \tag{P12-1}$$

C_t : Reserva de carbono total en el tiempo t (t-C)

A_i : Área ocupada por el tipo de bosque i (ha)

C_i : Reserva de carbono por unidad de área para el tipo de bosque i (t-C/ha)

Las emisiones y remociones son calculadas con la ecuación:

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \tag{P12-2}$$

ΔC : Cambio neto de carbono debido a las emisiones y remociones (t-C/año)

C_{t_1}, C_{t_2} : Reservas totales de carbono en los tiempos t_1 y t_2 respectivamente (t-C)

Las reservas de carbono totales y las emisiones de remociones calculadas a partir de datos de monitoreo de carbono del bosque pueden ser usadas para establecer el nivel de referencia y el nivel de emisión de referencia (ver P13).

Incertidumbre de la estimación

La incertidumbre en las reservas de carbono para cada tipo de bosque debido a los errores de medición introducidos al determinar el área y las reservas de carbono por unidad de área se calcula con la ecuación (P12-3):

$$U_i = \sqrt{U_{A_i}^2 + U_{C_i}^2} \tag{P12-3}$$

- U_i = Incertidumbre de la reserva de carbono del tipo de bosque i (%)
- U_{Ai} = Incertidumbre del área del tipo de bosque i (%)
- U_{Ci} = Incertidumbre de la reserva de carbono por unidad de área del tipo de bosque i (%)

U_i es calculado para todos los tipos de bosque y los resultados son usados en la ecuación (P12-4).

$$U_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i \times M_i)^2}{\sum_{i=1}^n M_i}} \quad (P12-4)$$

- U_t = Incertidumbre de la reserva de carbono total en el tiempo t (%)
- M_i = Promedio de la reserva de carbono del tipo de bosque i ($= A_i \times C_i$; t-C)

Finalmente, la incertidumbre de las emisiones y remociones netas entre los tiempos t_1 y t_2 es calculada con la ecuación (P12-5).

$$U_{\Delta C} = \sqrt{\frac{(U_{t_2} \times C_{t_2})^2 + (U_{t_1} \times C_{t_1})^2}{|C_{t_2} - C_{t_1}|}} \quad (P12-5)$$

- $U_{\Delta C}$ = Incertidumbre de las emisiones y remociones netas (%)

En el ejemplo descrito abajo, se utilizan datos hipotéticos para calcular las emisiones, remociones y la incertidumbre. Los datos para un bosque perennifolio y un bosque caducifolio se muestran en la Tabla P12-1. Las emisiones y remociones netas ΔC y la incertidumbre $U_{\Delta C}$ son calculadas como sigue mediante el uso de las ecuaciones (P12-2) y (P12-5) respectivamente.

$$\Delta C = (16204 - 22440) / (2010 - 2000) = -623.6$$

$$U_{\Delta C} = \sqrt{\frac{(6.5 \times 16204)^2 + (7.2 \times 22440)^2}{|16204 - 22440|}} = 30.9 \%$$

Tabla P12-1 Ejemplo de cálculo de acumulación de carbón forestal y volumen de emisión (Resultado de cálculo en itálicas)

Datos de carbono	A_i	U_{Ai}	C_i	U_{Ci}	$A_i \times C_i$	$\sqrt{U_{Ai}^2 + U_{Ci}^2}$	C_t	U_t
(Unidades)	(ha)	(%)	(t-C/ha)	(%)	(t-C)	(%)	(t-C)	(%)
PE en 2000	100	6	150	8	15000	10.0	22440	7.2
CA en 2000	93	4	80	7	7440	8.1		
PE en 2010	88	8	120	9	11560	9.5	16204	6.5
CA en 2010	68	2	83	5	5644	5.4		

PE = Bosque perennifolio, CA = Bosque caducifolio

Bibliografía

- GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1. GOFC-GOLD
- IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.IGES

Nivel de emisión de referencia y nivel de referencia

La Receta anterior es

Receta P12 Cálculo de las emisiones y remociones de carbono

Para cuantificar las reducciones en las emisiones logradas por actividades REDD-plus, es necesario primero establecer un nivel de emisión de referencia y/o un nivel de referencia, para luego compararlos con las emisiones actuales. En esta receta se explican los conceptos de niveles de emisión de referencia y niveles de referencia, tal y como son definidas en las discusiones de grupos de expertos que se llevan a cabo a solicitud del Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (SBSTA) bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Adicionalmente se describen las discusiones en curso bajo la UNFCCC y los retos en el establecimiento de los niveles de emisión de referencia y niveles de referencia.

Determinación del nivel de emisión de referencia y del nivel de referencia

El concepto básico de la REDD-plus es la de proveer incentivos económicos tales como fondos o créditos a países en desarrollo para actividades REDD (Reduciendo las emisiones por deforestación en países en desarrollo) y actividades "plus" previniendo las emisiones de CO₂ y reduciendo el CO₂ en la atmósfera mediante el secuestro de carbono. Se debe establecer un nivel de emisión de referencia o un nivel de referencia para cuantificar las reducciones en CO₂ debido a las actividades REDD-plus relativas a los niveles de CO₂ esperados en el caso donde tales actividades no hayan tenido lugar. En una reunión de expertos celebrado a solicitud de la SBSTA ^{1),2)}, el "nivel de emisión de referencia" y el "nivel de referencia" fueron diferenciados en dos aspectos:

- 1) El "nivel de emisión de referencia" es la emisión neta establecida para todo el país, y el "nivel de referencia" es la absorción neta.
- 2) El "nivel de emisión de referencia" es usado para evaluar actividades para reducir las emisiones que resultan de la deforestación (actividades REDD) y el "nivel de referencia" es usado para evaluar actividades "plus".

En algunos casos, el nivel de emisión de referencia y el nivel de referencia son establecidos en el mismo país. Para permitir que más actividades REDD-plus sean implementadas de forma adecuada en el Plan de Acción y Estrategia Nacional de países en desarrollo, muchos expertos acordaron que el establecimiento de los niveles de emisión de referencia y los niveles de referencia debe ser flexible.

Para establecer un nivel de emisión de referencia o un nivel de referencia es esencial contar con datos históricos de deforestación y degradación de bosques. La deforestación puede ser identificada de una forma relativamente sencilla usando series temporales históricas de datos satelitales dado que la deforestación es un cambio de uso de suelo bastante claro. Los datos sobre cambios en las reservas de carbono son indispensables para establecer el nivel de emisión de referencia. Por lo tanto, es vital que se estimen las reservas de carbono del bosque antes de que la

INFO

1) UNFCCC (2009) FCCC/SBSTA/2009/2, UNFCCC

INFO

2) UNFCCC (2011) FCCC/SBSTA/2011/INF.18, UNFCCC

deforestación haya tenido lugar. Por otro lado, el monitoreo de la degradación del bosque es técnicamente más difícil. Sin embargo, la degradación que causa una gran disminución de las reservas de carbono en el bosque puede ser monitoreada en muchos casos mediante el sensoramiento remoto. Así, durante la reunión de expertos del SBSTA, algunos fueron de la opinión que las emisiones causadas por la deforestación se deben tener en consideración cuando se establece el nivel de emisión de referencia o el nivel de referencia, pero que las emisiones de la degradación del bosque no deben ser tomadas en cuenta necesariamente. Se considera esencial no sólo el sensoramiento remoto sino también el monitoreo y medición de las reservas de carbono en campo para identificar la degradación del bosque.

Discusiones bajo la UNFCCC

La 15^{ta} conferencia de las partes (COP15) concluyó que cuando los países en desarrollo establezcan un nivel de emisión de referencia o un nivel de referencia, éstos deben tomar en cuenta su propia condición interna nacional mientras se asegura la transparencia con el uso de sus propios datos históricos. La COP16 decidió que el nivel de emisión de referencia del bosque y el nivel de referencia del bosque a nivel nacional (o a nivel sub-nacional como medida de transición) deben ser establecidos antes de que las actividades REDD-plus sean implementadas en países en desarrollo. Sin embargo, sus definiciones y detalles de cómo establecerlos aún no llegan a un nivel concreto.

En la COP17 se discutió la modalidad de los niveles de emisión de referencia y los niveles de referencia, y las Partes llegaron a las siguientes conclusiones:

- El nivel de emisión de referencia y el nivel de referencia son criterios para la evaluación del rendimiento de cada país en la implementación de las actividades REDD-plus, y deben ser calculados en términos de CO₂.
- El nivel de emisión de referencia y el nivel de referencia establecidos debe ser consistentes con las emisiones y remociones en el bosque que son incluidas en inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Buenos datos, métodos mejorados y, si es apropiado para el caso, un enfoque por fases que incorpore reservorios de carbono adicionales son efectivos para desarrollar un nivel de emisión de referencia o un nivel de referencia.
- Se debe desarrollar un nivel de emisión de referencia preliminar o un nivel de referencia preliminar a nivel sub-nacional durante el período de transición hacia un reporte a nivel nacional.

Retos en la organización

Los datos históricos son esenciales para el establecimiento de un nivel de emisión de referencia y un nivel de referencia. Sin embargo, el nivel de emisión de referencia o el nivel de referencia puede variar mucho dependiendo del período de adquisición de datos históricos y del tipo de modelo usado. Con un modelo más preciso, se debe disponer de datos en más momentos en el tiempo. Por lo tanto se deben tener discusiones consistentes sobre la selección del modelo para estimar tendencias futuras y el intervalo de tiempo apropiado para obtener los datos históricos requeridos para crear el modelo.

Para llevar a cabo la entrega de créditos de carbono de bosques, se requiere de un monitoreo de alta precisión que satisfaga las condiciones de Medición, Reporte y Verificación (MRV). Sin embargo, la disponibilidad de los datos históricos puede ser limitada. Es extremadamente importante para el éxito de la REDD-plus el establecer un nivel de emisión de referencia/nivel de referencia apropiado de tal manera que se aseguren la transparencia y la confiabilidad mientras que se toman en consideración las circunstancias del país implementador. Puede ser requerida la construcción de capacidades de acuerdo con las circunstancias nacionales dado que los países en desarrollo poseen en mayor o menor medida la tecnología y los datos necesarios para establecer el nivel de emisión de referencia y/o el nivel de referencia. La implementación plena de la REDD-plus en países en desarrollo debe tener lugar sólo después de que el nivel de emisión de referencia y el nivel de referencia han sido provisionalmente establecidos durante actividades de demostración y de que los retos organizacionales hayan sido superados exitosamente.



Técnicas

6

Capítulo 6 Preparación para la implementación de la REDD-plus



Antes de que la REDD-plus pueda ser implementada por un país, el estado de la preparación de dicho país debe ser determinado. ¿Se dispone de datos de distribución de áreas de bosque? ¿Qué recursos de información y experticia técnica tiene el país? ¿Qué gases de efecto invernadero deben ser medidos de manera preferencial?. El estado de preparación del país candidato debe ser estudiado para que una técnica apropiada de estimación de reservas de carbono pueda ser escogida de acuerdo a los recursos que estén a disposición o que puedan ser obtenidos.

- T01 Inventario Forestal Nacional
- T02 ¿Qué gases de efecto invernadero son medidos?
- T03 Recursos asequibles
- T04 Sistema de certificación de créditos voluntarios de carbono

Inventario Forestal Nacional

La Receta anterior es

Receta I03 Medición, reporte y verificación (MRV) en monitoreo de bosques

En muchos países desarrollados, un estudio de recursos forestales a nivel nacional, llamado Inventario Forestal Nacional (NFI) es llevado a cabo de forma periódica para evaluar los recursos forestales del país. Aquí se describen el diseño de muestreo estadístico, tipos de parcela de muestreo y muestreo metodológico apropiado para un inventario forestal nacional.

¿Qué es un inventario forestal nacional?

Para evaluar los recursos forestales de todo un país (por ejemplo, área, volumen e incremento de volumen en pie, etc.), un estudio de recursos forestales es llevado a cabo de forma periódica en la mayoría de países Europeos y Norte-Americanos con una técnica uniformizada. Esto es llamado inventario forestal nacional. Hoy en día, los datos del inventario forestal nacional son basados en estudios en parcelas por medio del muestreo estadístico el cual es un método de investigación adecuado en el caso de que se requiera un informe con precisión estadística para el reporte de la cantidad de absorción de carbono por el bosque.

Diseño de muestreo del inventario forestal nacional

Típicamente se utiliza para el muestreo una cuadrícula hecha a intervalos de 0.5 a 20 km, y parcelas de muestreo o grupos de parcelas (conglomerado de parcelas) son establecidos en puntos de la cuadrícula o en puntos de referencia cuya posición es fijada por una regla (Figura T01-1). Es posible utilizar por ejemplo fotografías aéreas u observaciones de campo para determinar si la parcela cae dentro de un área de bosque, dado que algunas ubicaciones de las parcelas pueden no hacerlo, y así estimar el área total de bosque.

El uso de parcelas de diferentes formas o conglomerados de parcelas refleja diferencias en el medio ambiente del bosque de cada país. En muchos países se utilizan parcelas circulares, pero las parcelas en el bosque natural de China, Brasil y Nueva Zelanda son

rectangulares. En algunos países (ej. Francia) se utilizan parcelas circulares que consisten en dos, tres o cuatro parcelas circulares concéntricas.

En Europa del Oeste (ej. Francia) y Japón, un sistema de parcela única es típico (Figura T01-2). En Europa Central (ej. Alemania) se utilizan pequeños conglomerados consistentes en cuatro parcelas separadas una distancia de 150 a 500 metros y organizados en un cuadrilátero; en cambio, en Europa

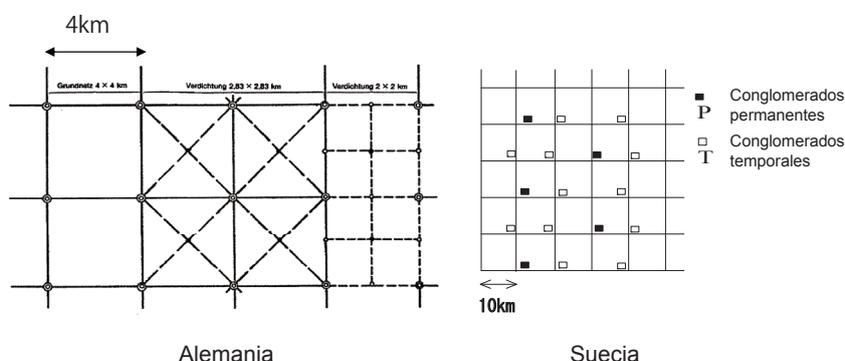


Figura T01-1 Ejemplo de cuadrículas para muestreo en NFI

del Norte se utilizan conglomerados más grandes que pueden consistir en 10 parcelas o más organizadas en un rectángulo con 1000 metros en cada lado. Más aún, en Brasil se utiliza un conglomerado en forma de cruz mientras que en Estados Unidos se utiliza un conglomerado de parcelas consistente en tres parcelas organizadas en un triángulo equilátero con una cuarta parcela en el centro del triángulo.

La ventaja de utilizar conglomerados de parcelas consiste en la posibilidad de levantar muchos datos de varias parcelas en un período relativamente corto de tiempo debido a que las parcelas están cercanas unas con otras. Por otro lado, el análisis estadístico se complica dado que las parcelas en el conglomerado pueden no ser, estadísticamente, independientes.

Dirigiendo el inventario

Las reservas de carbono en el bosque son estimadas mediante la ejecución de censos de individuos en las parcelas de muestreo. En el caso de parcelas circulares únicas, que consisten en círculos concéntricos, se realizan mediciones de diámetro de los árboles en pie. Por ejemplo, en Francia, cada parcela circular consiste en tres círculos concéntricos con radios de 6, 9 y 15 metros en donde se miden individuos en pie de diámetro a altura de pecho (DAP) de 7, 20 y 37 centímetros en el círculo interior, medio y exterior respectivamente. Usualmente sólo algunos individuos en pie son escogidos para la medición de su altura dado que requiere de tiempo y esfuerzo considerable. Para medir parámetros tales como la biodiversidad se recolectan y registran también mediciones u otro tipo de información sobre la vegetación del estrato bajo, árboles caídos, tocones, suelo, etc.

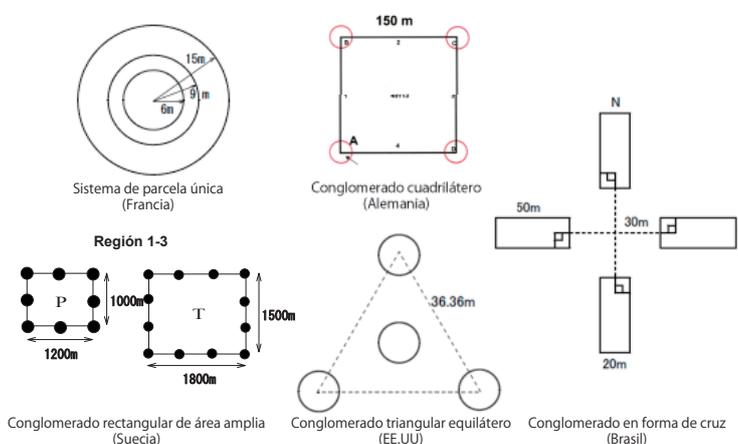


Figura T01-2 Modalidad de distribución de parcelas en el Inventario Nacional Forestal.

Inventarios forestales nacionales en países tropicales

En países tropicales puede ser difícil llevar a cabo inventarios forestales nacionales similares a aquellos ejecutados en países de Occidente debido a dificultades de acceso y problemas técnicos. Sin embargo, Brasil fue el primero en realizar un inventario forestal nacional en el año 2005 ¹⁾. En éste se estableció una cuadrícula usando intervalos de 20 kilómetros y se organizó cuatro parcelas de 20 metros por 50 metros distribuidas a manera de una cruz centrada en un punto de la cuadrícula. Individuos en pie con un DAP de 10 centímetros o más fueron medidos, se establecieron sub-parcelas de 10 metros por 10 metros dentro de cada parcela para la medición de individuos de diámetro pequeño y las plántulas fueron medidas en sub-parcelas de 5 metros por 5 metros dentro de cada parcela.

INFO

1) Tomppo E, Gschwantner M, Lawrence M, McRoberts RE (2010) National Forest Inventories. Springer-Verlag

¿Qué gases de efecto invernadero son medidos?

La Receta anterior es
 Receta P04 Medición de carbono en bosques

Para realizar el monitoreo de emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) de forma eficiente, es importante definir el gas que será el objetivo de la medición. En esta receta se describen los posibles gases objetivos a ser medidos en la REDD-plus, los gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso así como también los cinco reservorios de carbono en el bosque como son la biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y el carbono orgánico del suelo.

INFO

1) Como uno de los criterios para la determinación, sería deseable incluir un ítem (gas) a medir si es que existe una contribución superior al 25% del total de emisión calculada. Además, si el total de contribución de los ítems a medir supera el 95% del total de volumen de emisión sería mejor. Generalmente, los ítems de medición que tienen una prioridad alta y se convierten en sujetos de monitoreo, se denominan categorías clave (Key category)

INFO

2) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Hirai K, Saito H, Toriyama J, Monda Y, Awaya Y, Shimada M, Inoue T, Hatano R, Sophal C, Samreth V, Sum T, Kanzaki M, Limin SH, Jaya INS (2011) Important subcategory of greenhouse gas emissions from degraded forestland: CO₂ emissions from biomass in a seasonal forest in Cambodia and soil organic matter in a peat swamp forest in Indonesia. The Kanto Forest Research 62: 167-170

Gases de efecto invernadero que pueden ser gases objetivo en la REDD-plus

En la REDD-plus son tres gases de efecto invernadero los que con más frecuencia son objeto de monitoreo. Sin importar el tipo de ecosistema boscoso, la medición del CO₂ es esencial. También puede ser necesario medir el CH₄ y el N₂O en áreas de bosque donde los incendios son comunes, y en áreas de bosque con muchas turberas puede ser también necesario medir el CH₄. Dependerá de la contribución de cada fuente a las emisiones totales de gases de efecto invernadero si las mediciones de CH₄ y N₂O deben llevarse a cabo o no ¹⁾. La Figura T02-1 muestra los resultados de cálculos preliminares de las contribuciones de diferentes fuentes al total de emisiones de gases de efecto invernadero usando los valores por defecto del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y valores observados en el campo ²⁾.

Una vez que se determina cuáles son las mediciones que se requieren, la implementación del monitoreo puede ser difícil. El método de diferencia de reservas puede usarse para el monitoreo de CO₂ (ver el capítulo 5), pero es un método de flujos el que debe ser empleado para el CH₄ y el N₂O. Mas aún, el entrenar a personal para usar un instrumento analítico tal como un cromatógrafo de gases para medir los flujos gaseosos requiere de mucho tiempo y dinero. Adicionalmente, las observaciones y mediciones de campo usualmente necesitan ser hechas de forma frecuente, tanto como cada dos a cuatro semanas.

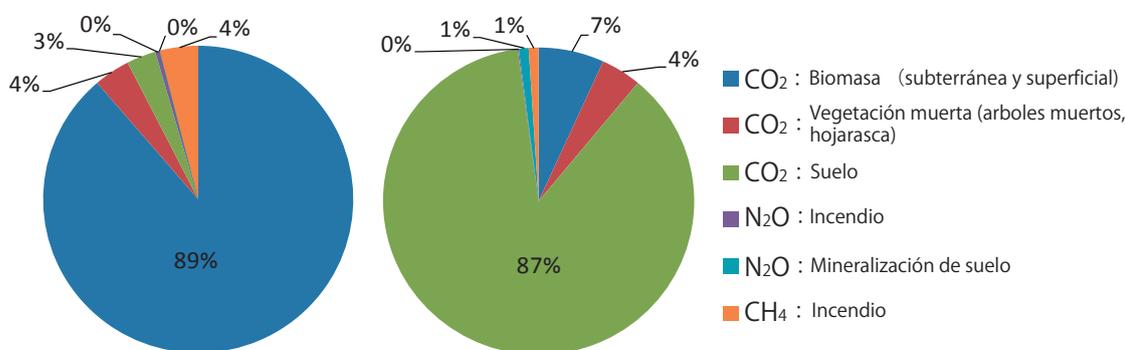


Figura T02-1 Estimación de la contribución por subcategorías a las emisiones totales de gases de efecto invernadero ²⁾.

Bosque tropical monzónico (Izquierda: 425 t-CO₂/ha/década en total)

Bosque palustre de turba (Derecha: con tratamiento de drenaje: 878 t-CO₂/ha/década)

Para mantener bajos los costos de monitoreo, puede ser posible usar valores de flujo ya obtenidos por una universidad u otra institución de investigación en el área del proyecto; de no haber medidas disponibles se debe considerar el uso de los factores de emisión por defecto de la IPCC ³⁾. Aquí, el enfoque recae en el método de diferencia de reservas cuya implementación es la más viable para muchos proyectos. Para más información sobre el método de flujos alentamos al lector a recurrir a las referencias bibliográficas ⁴⁾ (Figura T02-2).



Figura T02-2 Medición de gases de efecto invernadero por el método de flujos ⁴⁾

- A) Instalación de la cámara
- B) Succión del gas de efecto invernadero por el cilindro.
- C) Llenado del vial de vacío con el gas de efecto invernadero

INFO

3) La base de datos de factores de emisión está disponible en <http://ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

INFO

4) Sakata T, Ishizuka S, Takahashi M (2004) A method for measuring fluxes of greenhouse gases from forest soils. Bulletin of FFPRI 392: 259-265

Los cinco reservorios de carbono en bosques

En el método de diferencia de reservas, se considera que los ecosistemas boscosos tienen cinco reservorios de carbono ⁵⁾: Biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y la carbono orgánico en el suelo ⁵⁾. Es importante saber la contribución relativa de cada reservorio de carbono en las reservas de carbono del bosque. En el ejemplo de un bosque tropical estacional (por ejemplo, caducifolio) (Gráfico circular de la izquierda en la Figura T02-1), las contribuciones de CO₂ de la biomasa aérea y subterránea son mayores y la precisión de la estimación de las emisiones totales serían mejores al medir éstos directamente en vez de usar los factores de emisión por defecto. Por otro lado, la contribución de CO₂ del suelo (turba) es más importante en un bosque de turberas (Gráfico circular de la derecha en la Figura T02-1). La medición de biomasa aérea y subterránea para el método de diferencia de reservas se explica en P10 y P11. Las reservas de carbono en el bosque que corresponden a la madera muerta o el suelo pueden ser evaluadas de forma similar, mediante la evaluación de reservas de carbono por unidad de área (t-C/ha) y multiplicando el valor obtenido por el área del bosque (ha). Por lo tanto, según el concepto del método de diferencia de reservas, es posible decidir qué reservorios de carbono deben medirse de acuerdo a la contribución relativa (prioridad).

INFO

5) En el método de diferencia de reservas de carbono, el cambio anual calculado de un reservorio de carbono (t-C/ha) se convierte en cambio anual en CO₂ (t-CO₂/ha) multiplicándolo por el factor 44/12.

Bibliografía

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1.

Recursos asequibles

La Receta anterior es

Receta P09 Estimación de las reservas de carbono por área

Para estimar las reservas de carbono del bosque tal y como lo requiere la REDD-plus se necesita cierta información y recursos técnicos así como también un modelo de estimación de biomasa para el país implementador. Se deben asegurar el estado de preparación de cada país implementador y la disponibilidad de un modelo apropiado, y luego se deben seleccionar los métodos y técnicas a usarse para la estimación de las reservas de carbono del bosque considerando los recursos que están disponibles o asequibles.

Recursos de sensoramiento remoto

Como resultado de los recientes avances en la tecnología de sensoramiento remoto, muchas mejoras han sido logradas en cuestión de resolución a nivel de superficie y longitud de onda, así como también se dispone de varios tipos distintos de sensores. Un satélite equipado con sensores ópticos de alta resolución puede ahora mostrar la superficie de suelo con una resolución de aproximadamente 50 cm, lo que significa que tiene la capacidad de observar la copa de un árbol de forma individual. El costo por unidad de área de una imagen, sin embargo, tiende a incrementarse con el incremento de la resolución a nivel de superficie. Para observaciones de bosques en áreas tropicales, el sensoramiento remoto con la tecnología de radar tiene la ventaja de emplear ondas de radar que pueden penetrar la cobertura de nubes haciendo posible la observación en días nublados. Por otro lado, las características topográficas en áreas de bosque pueden influenciar el resultado y más aún, la tecnología de radar no es apropiada para observaciones de biomasa aérea en un área de reservas de carbono altas. Sin embargo, el progreso en el desarrollo de factores de corrección para distorsiones atmosféricas o geométricas han mejorado la precisión de las observaciones.

De esta forma, la tecnología de sensoramiento remoto tiene sus ventajas y desventajas dependiendo del sensor y del método de análisis utilizado. Por lo tanto, la decisión acerca de la tecnología de sensoramiento remoto que debe ser aplicada y la elección del sensor deben depender de una cuidadosa consideración de la escala de las observaciones que son necesarias y de las condiciones naturales de la región (ver T05).

Recursos para el estudio de campo

Para calcular la reserva de carbono del bosque por unidad de área, es necesario saber si la ecuación de estimación de biomasa ha sido desarrollada para el país en cuestión y si los datos del Inventario Forestal Nacional (NFI) (ver T01) están

disponibles. Si ambos están disponibles en el país de implementación, pueden ser usados para calcular las reservas de carbono del bosque.

Si no hay disponibilidad de datos de un NFI en el país que está implementando la REDD-plus, un sistema de estudio de parcelas permanentes de muestreo (PPM) debe ser diseñado y establecido para la recolección de los datos (ver P10 y T12-T14). Más aún, si el país en donde se implemente la REDD-plus no cuenta con un modelo estadístico para calcular la biomasa o reservas de carbono, se debe desarrollar un modelo apropiado para el país (ver P11 y T15-T19).

Continuidad de recursos

En la REDD-plus, las emisiones futuras son predecidas a partir de cambios pasados de las reservas de carbono del bosque. Dado que la diferencia entre el valor futuro predecido y el valor presente de las reservas de carbono del bosque son la base de las concesiones de incentivos económicos para la REDD-plus, la tendencia pasada y los resultados de monitoreo futuros deben ser comparables. Escogiendo la técnica a emplear para determinar las reservas de carbono forestal, es importante evaluar si la técnica puede ser usada de forma continua en el futuro, a partir del punto de vista técnico y económico. Adicionalmente, la consistencia y confiabilidad de la técnica de sensoramiento remoto usada para detectar los cambios en el área de bosque sirve como fundamento para la revisión por parte de un tercero. Tal consistencia y confiabilidad no pueden ser logradas si técnicas diferentes son utilizadas en momentos distintos.

Sistema de certificación de créditos voluntarios de carbono

La Receta anterior es

Receta I04 Diseño del sistema de monitoreo forestal

Sistemas de certificación voluntaria han sido desarrollados de forma independiente a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y del Protocolo de Kyoto para evaluar las actividades de reducción y remoción de emisiones con el propósito de entregar créditos, conocidos como Reducción Verificada de Emisiones (VERs) que pueden ser comercializados. Entre estos sistemas de certificación, el Estándar Voluntario de Carbono (VCS) el cual apunta a las acciones en el sector forestal incluyendo la REDD-plus, ha sido adoptado por muchos proyectos independientes.

El estado actual del sistema de certificación VER

El Protocolo de Kyoto incluye mecanismos para emitir y comercializar créditos de reducción de carbono; el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) es un ejemplo típico. En este caso, los créditos obtenidos son llamados Reducción Certificada de Emisiones (CER). Por otro lado, el crédito por otro sistema voluntario es llamado una Reducción Verificada de Emisiones (VER).

Mientras que la CER puede ser aplicada hacia el logro (o cumplimiento) de las metas de reducción de la UNFCCC o del Protocolo de Kyoto, las VER no pueden ser usadas para ese propósito. En lugar de eso, son aplicadas hacia el logro de metas de reducción determinadas de forma voluntaria o acciones de Responsabilidad Social Corporativa (CSR). En Japón, la J-VER es un tipo de VER ampliamente reconocido que puede ser emitida cuando las remociones de CO₂ son logradas en un bosque.

A pesar de que la REDD-plus aún no ha sido formalmente incorporada en la UNFCCC, proyectos voluntarios avanzados están siendo llevados a cabo en muchos países. El sistema de certificación VCS es usado por muchos de estos proyectos voluntarios.

VCS

El Estándar Voluntario de Carbono (VCS) es un estándar de verificación y certificación para emisiones voluntarias y esfuerzos de remoción. Cabe mencionar que en el año 2005 se estableció un programa con el mismo nombre que tuvo en cuenta los gases de efecto invernadero. Su propósito es el de promover acciones que reduzcan las emisiones de CO₂ a través de un mecanismo de mercado mediante la verificación y emisión de créditos de carbono (Unidades de carbono verificadas o VCUs) que pueden ser comercializados en mercados voluntarios. De forma más reciente, el VCS ha desarrollado una iniciativa REDD-plus jurisdiccional y anidada bajo la forma de un marco de crédito y contabilidad para los créditos que guarden relación con la REDD-plus.

La estructura del VCS consiste en un "Estándar VCS" ¹⁾ que establece las reglas de implementación para todo el sistema, y "Requerimientos" los cuales proveen la información necesaria y el procedimiento de implementación bajo el estándar VCS. Los requerimientos de proyecto en relación a la REDD-plus se establecen en los Requerimientos AFOLU

INFO

1) VCS (2012) VCS Standard v 3.2
http://v-c-s.org/sites/v-c-s.org/files/VCS%20Standard%2C%20v3.2_0.pdf

INFO

2) VCS (2012) AFOLU Requirements
<http://v-c-s.org/sites/v-c-s.org/files/AFOLU%20Requirements%20v3.2.pdf>

(Agricultura, silvicultura y otros usos de tierra)²⁾. El VCS tiene también "Metodologías" establecidas, las cuales establecen procedimientos detallados y ecuaciones para cuantificar los beneficios de un proyecto específico que trata con gases de efecto invernadero.

La Tabla T04-1 lista las metodologías aprobadas que guardan relación con las actividades REDD-plus y su aplicabilidad por región y tipo de bosque. A pesar de que el desarrollo de las metodologías no es algo sencillo, aquellas que están actualmente registradas son fáciles de implementar. Una guía está disponible³⁾ la cual asiste a desarrolladores de proyecto en la selección de metodologías.

INFO

3) Shoch D, Eaton J, Settelmyer S (2011) Project Developer's Guidebook to VCS REDD Methodologies http://www.conservation.org/about/centers_programs/carbon_fund/Pages/resources.aspx

Consideraciones futuras

Proyectos voluntarios que implementan actividades de la REDD-plus se vuelven cada vez más sofisticados, y muchos de ellos han adoptado VCS. Sin embargo, bajo la UNFCCC, se considera que la REDD-plus fue creada apuntando al nivel de implementación nacional o sub-nacional, no a nivel de proyectos individuales usando sistemas de certificación basados en VER. Un reto para el futuro es determinar cómo integrar más adelante con la REDD-plus bajo la UNFCCC estos proyectos voluntarios, los cuales están llevando a cabo actividades significativas de conservación de bosques.

El gobierno Japonés ha promovido el Mecanismo de Compensación de Crédito Bilateral (BOCM) para contrarrestar el calentamiento global. La incorporación del Mecanismo de Compensación de Crédito Bilateral a la REDD-plus está siendo considerada, y las correspondientes guías y metodologías de este mecanismo están siendo desarrolladas con esa posibilidad en mente.

Tabla T04-1 Teoría de método de REDD-plus aprobado por la VCS

Numero de teoría del método	Tipo de actividad REDD-plus	Zona sujeto	
		Región sujeto	Bosque suheto
VM0003	Mejoramiento de la gestión forestal (extensión de periodo de cosecha)	Todo el mundo	<ul style="list-style-type: none"> Bosque con (o que planea obtener) certificación FSC No aplica para bosques manejados de turba
VM0004	Reducción de la deforestación planificada	Sudeste asiático, tropical	<ul style="list-style-type: none"> Bosques de turba tropical No debe incluir poblados
VM0005	Mejoramiento de la gestión forestal (mejoramiento de la productividad)	Tropical	<ul style="list-style-type: none"> Bosque tropical lluvioso perennifolio Como regla básica no aplica para turberas
VM0006	Control de deforestación y degradación de bosque en forma de mosaico	Todo el mundo	<ul style="list-style-type: none"> Todos los bosques
VM0009	Control de deforestación y degradación de bosque en forma de mosaico	(en el caso que incluya el carbono orgánico del suelo) Tropical y semiárida tropical	<ul style="list-style-type: none"> No aplica para suelos orgánicos o de turba Se excluyen las áreas que tienen permitida las actividades de tala legal
VM0010	Mejoramiento de la gestión forestal (cambio de bosque de tala a bosque de protección)	Todo el mundo	<ul style="list-style-type: none"> No aplica para los humedales ni turberas
VM0011	Mejoramiento de la gestión forestal (cambio de bosque de tala a bosque de protección)	Tropical	<ul style="list-style-type: none"> Bosque tropical perennifolio, bosque caducifolio húmedo, bosque tropical seco, bosque alto tropical Bosque donde la tala selectiva está permitida legalmente
VM0012	Mejoramiento de la gestión forestal (cambio de bosque de tala a bosque de protección)	Zona templada y sub ártica	<ul style="list-style-type: none"> Bosque de propiedad privada. No aplica para bosques manejados de turba manejados
VM0015	Control de la deforestación no planificada	Todo el mundo	<ul style="list-style-type: none"> No aplica para los bosques húmedos donde crece la turba

Bibliografía

VCS homepage: <http://v-c-s.org/>

J-VERhomepage: <http://www.j-ver.go.jp/>

7

Capítulo 7 Estimación del área de bosque usando sensoramiento remoto



Cuando se lleva a cabo la medición, reporte y verificación (MRV) de las reservas de carbono para la REDD-plus, las reservas de carbono deben primero ser estimadas a nivel nacional. Bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) se recomienda el uso combinado del sensoramiento remoto e inventarios de campo para este propósito. En particular, el sensoramiento remoto debe ser usado para la identificación de los tipos de bosques presentes y el área que ocupa cada uno. Este capítulo presenta el conocimiento fundamental y los métodos requeridos para determinar el área de cada tipo de bosque con el uso de tecnología de sensoramiento remoto. Adicionalmente se presentan los métodos para combinar el sensoramiento remoto con los estudios de campo, así como para la estimación de las reservas de carbono por unidad de área. Las explicaciones detalladas de estos métodos se dan en el capítulo 9.

- T05 Sensoramiento remoto, tipos de sensores y selección de datos satelitales
- T06 Nubes y diferencias estacionales en imágenes
- T07 Definición de clases de cobertura de suelo
- T08 "Ground Truth"
- T09 Métodos de clasificación
- T10 Evaluación de la precisión
- T11 Estimación del cambio de área de bosque

Sensoramiento remoto, tipos de sensores y selección de datos satelitales

La Receta anterior es

Receta P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

Para determinar el área del bosque, tipo de bosque y grado de degradación de bosque a partir de imágenes de sensoramiento remoto, éstas deben haber sido tomadas por un sensor apropiado considerando el propósito de las mediciones y los tamaños de las áreas y objetos que se estudian. En esta sección se presenta la información básica acerca de los principales sensores satelitales ópticos, incluyendo las especificaciones técnicas, costos, y criterios para la selección de imágenes y software de análisis.

Plataformas

Los sensores de sensoramiento remoto son montados en una plataforma sea satelital o aérea. Las observaciones terrestres continuas son hechas desde satélites meteorológicos en órbita geoestacionaria, la cual es la plataforma que más dista del planeta. Satélites geoestacionarios parecen ocupar una posición fija en el cielo cerca de 35 800 Km sobre la línea ecuatorial. En contraste, un satélite de observación terrestre sigue una órbita circular a una distancia 450 – 1000 Km sobre la superficie del planeta y observa un mismo punto de forma periódica. Si el sensor satelital de observación terrestre tiene la capacidad de apuntar, o si puede inclinarse de forma perpendicular a la órbita, entonces puede observar un punto dado de forma más frecuente que el tiempo de revisita satelital. Observaciones aéreas pueden ser hechas desde un helicóptero, el cual vuela a altitudes desde cientos hasta miles de metros sobre el nivel del suelo, desde un aeroplano (por ejemplo, un avión a propulsión o un jet) que vuela a altitudes de 1000 a 20 000 metros. Más aún, las observaciones desde cerca de la superficie de la tierra pueden ser hechas usando un globo aerostático, una máquina controlada por radio, un vehículo aéreo no tripulado, una plataforma hidráulica, o una persona parada a la distancia.

Si la plataforma está cerca a la superficie de la tierra, las observaciones detalladas son posibles, pero al mismo tiempo un área extensa no puede ser observada. En contraste, una área muy extensa puede ser observada toda al mismo tiempo desde una plataforma muy alejada de la tierra, pero son pocos los detalles que se pueden distinguir. De esta forma, hay un intercambio entre el área que puede ser observada y el nivel de detalle que puede ser capturado. Por lo tanto, los sensores remotos son montados en varias plataformas a diferentes altitudes, dependiendo del propósito de la observación. Observaciones desde plataformas distintas a la satelital son llevadas a cabo cuando se estiman necesarias, mientras que el sensor y las observaciones hechas pueden por lo tanto ser seleccionadas de acuerdo al tipo y cantidad de datos que sean necesarios. Por otro lado, se incurre en un costo cada vez que se realizan observaciones.

Sensores

Un sensor es un dispositivo que observa ondas electromagnéticas que son reflejadas desde o emitidas por el objetivo. Los sensores pueden ser pasivos o activos. Sensores pasivos comunes son cámaras análogas o digitales las cuales capturan la luz solar o la luz artificial reflejada desde el objetivo (ondas electromagnéticas emitidas desde el objetivo dependiendo de la banda de longitud de onda de observación). Los sensores ópticos usados para la observación de la tierra son sensores pasivos. En contraste, los sensores activos envían ondas electromagnéticas al objetivo y observan su reflexión. Ejemplos comunes son el radar meteorológico y el telémetro láser. Para observación terrestre son usados el Radar de Apertura Sintética (SAR) y Detección Aérea de Luz y Medidas de Rangos (LiDAR).

Un sensor óptico detecta la intensidad de la luz visible e infrarroja en una o más bandas de longitud de onda. Los sensores ópticos típicamente detectan luz reflejada en las bandas de longitud de onda visible (longitud de onda 0.4-0.7 μm), infrarroja cercana (0.7-1.3 μm), infrarroja de longitud de onda corta (1.3-3 μm), infrarroja de longitud de onda media (3-8 μm) o luz emitida en el infrarrojo termal o lejano (8-14 μm). La resolución a nivel de superficie, la resolución de longitud de onda y la resolución temporal de los sensores son distintas. Los sensores recientemente desarrollados pueden hacer observaciones detalladas y de alta resolución. En el caso de los ópticos, éstos pueden ser montados en un satélite, un avión o pueden llevarlos en la mano por una persona.

La toma de datos usando un sensor óptico tiene muchas ventajas. Una imagen óptica puede ser entendida de forma intuitiva por que se asemeja a lo que el ojo humano puede ver y si los datos son visualizados como una imagen monocroma o como una imagen compuesta de color RGB se pueden distinguir los tipos de suelo y cobertura por su reflexión característica (patrón espectral) y su textura. Por esto, los sensores ópticos han sido el tipo más usado de sensor hasta ahora. Por otro lado, un sensor óptico tiene las desventajas de que las nubes, neblina o polvo pueden obscurecer la superficie de la tierra o causar ruido en los datos. Además las bandas de longitud de onda visible e infrarroja reflejada no puede ser usada para observaciones nocturnas cuando no hay luz del sol.

El Radar de Apertura Sintética (SAR) es un sensor activo montado en un satélite o en un aeroplano el cual emite pulsos de micro-ondas (longitud de onda cerca de los 7– 1000 mm) de manera oblicua, para luego detectar y registrar la intensidad, fase y tiempo de los pulsos reflejados desde la superficie de la tierra (retrodispersión). Algunos sensores SAR pueden también observar polarización. Las propiedades de tamaño, configuración, densidad y dieléctrica de los objetos afectan los patrones de retrodispersión por la que los objetos son identificados. Las características de la retrodispersión que parte de un objeto dependen de la longitud de banda del sensor. Cuando un bosque es observado usando la banda L (longitud de onda entre 150-300 mm) o la banda P (300-1000 mm) la retrodispersión tiene tres componentes

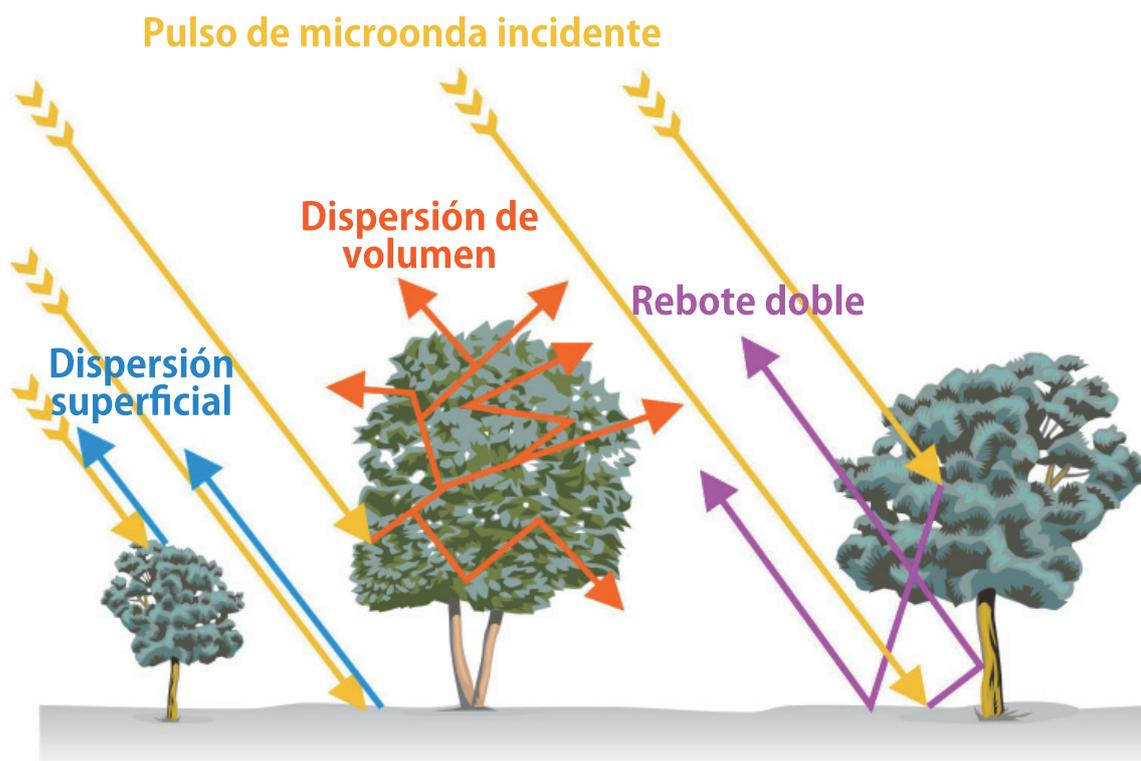


Figura T05-1 Los tres componentes de la retrodispersión que parten de un bosque

principales: reflexión que parte de la superficie de la tierra, la copa de un árbol o el dosel del bosque (dispersión superficial); reflexión que parte de las hojas dentro del dosel (dispersión de volumen); y reflexión de rebote doble cuando las micro-ondas son reflejadas dos veces (por ejemplo, primero a partir de la superficie del suelo al tronco de un árbol, o desde las hojas en la superficie del suelo, y después de regreso al sensor) antes de retornar al sensor (Figura T05-1).

Estudios para interpretar el estado de un bosque (especies, biomasa, etc.) a partir de esta información se encuentran en progreso. Más aún, los cambios en la elevación de la superficie de medición puede ser detectada por análisis de interferencia a partir de datos de observación de un bosque obtenidos en diferentes momentos. La interpretación de esta información puede permitir la detección de la deforestación y la degradación forestal. Las observaciones pueden ser hechas durante el día y la noche y en cualquier condición de clima, dado que el SAR es un sensor activo y las micro-ondas pueden atravesar las nubes. Por esto, se espera que el SAR sea especialmente apropiado para su aplicación en la observación de bosques tropicales. Aún así, también se tienen desventajas. Los datos obtenidos no pueden ser comprendidos de forma intuitiva, el mecanismo de retrodispersión es complicado y no completamente entendido, y la observación en ángulo introduce una distorsión a las imágenes producidas, así como también puntos ciegos o porciones de superficie que no pueden ser observados.

El LiDAR emite pulsos láser a una frecuencia de cientos de kilo-hertz. Éste mide la

distancia entre el sensor y el objetivo usando el tiempo que tarda el pulso en viajar y la intensidad del pulso reflejado desde el objetivo. El LiDAR aéreo típicamente emite pulsos láser de forma continua sobre un ángulo de muchas decenas de grados hacia ambos lados del sensor perpendicular a la dirección del movimiento, lo que permite al sensor la medición de la distribución de la elevación de la superficie de la tierra de forma tridimensional. La precisión de la geometría de la medida se asegura mediante la unidad de medida inercial (IMU)¹⁾, el cual mide la posición del sensor y su inclinación. La elevación de la superficie de la tierra puede ser medida a alta resolución con el uso de un pulso láser de alta frecuencia emitido a baja altitud. Cuando el LiDAR es dirigido hacia el bosque, estos pulsos láser pueden ser reflejados por la superficie del dosel de un árbol, las hojas dentro del dosel, o la superficie de la tierra. Un modelo superficial digital (DSM) del dosel de un árbol puede ser creado a partir del primer componente regresado de la reflexión (primer pulso), mientras que se puede crear un modelo digital del terreno (DTM) de la superficie del suelo a partir de los últimos componentes regresados (últimos pulsos). Entonces, al sustraer el DTM del DSM, un modelo digital de copa (DCM) puede ser obtenido, el cual puede ser

INFO

1) Unidad de medida inercial (IMU): Posición precisa y dispositivo de medida de postura que combina el sistema satelital de navegación global (GNSS) y un sistema de navegación inercial. El GPS de los Estados Unidos, el GALILEO Europeo, GLONASS de Rusia, el Hokuto Compass de China, etc., son denominados GNSS de forma genérica.

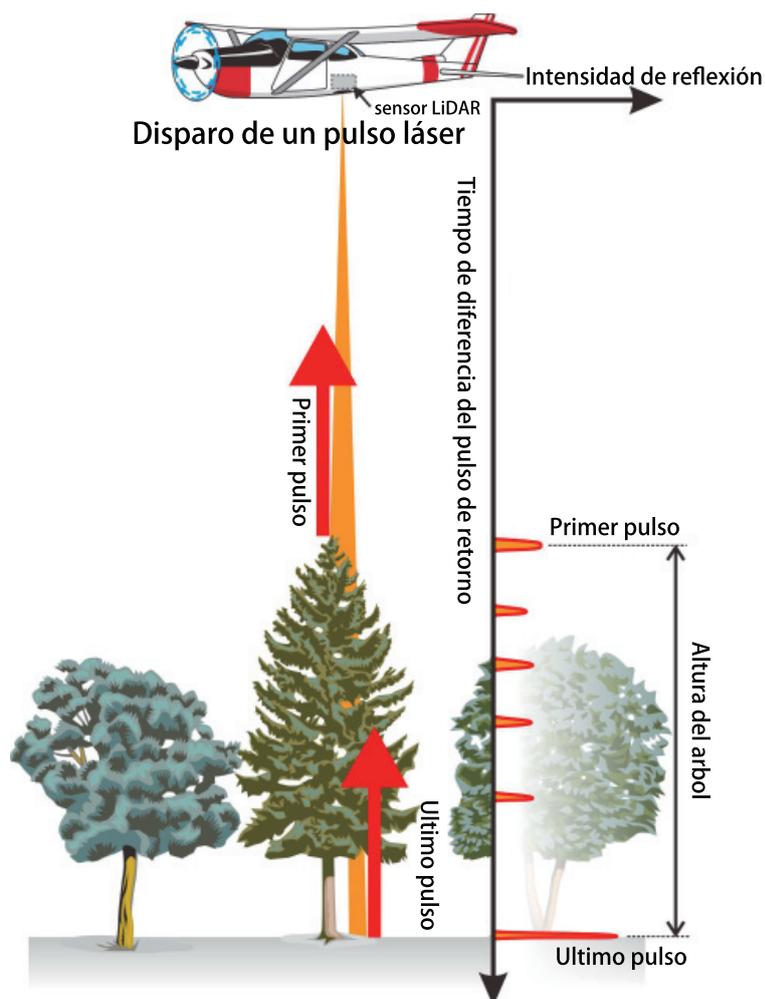


Figure T05-2 Concepto de adquisición de datos por LiDAR

usado para determinar el tamaño de la altura de un sólo árbol o de la masa forestal (Figura T05-2).

Esta información puede ser entonces usada para estimar la biomasa de la masa forestal. Más aún, dado que los pulsos retornados entre el primer y último pulso son reflejados por la parte interior del dosel del árbol o por la vegetación del estrato inferior, la estructura tridimensional de un bosque puede ser determinada en detalle.

Para obtener datos a alta resolución, el avión debe volar a baja altitud y velocidad, lo que resulta en observaciones que consumen mucho tiempo y dinero si se trata de un área extensa. Esto puede ser imposible en áreas montañosas. Otras desventajas del LiDAR incluyen la incapacidad de penetrar nubes o neblina, y el costo en tiempo y dinero en el procesamiento de los datos dada la inmensa cantidad de datos de observación.

Resolución espacial, resolución de longitud de onda y resolución temporal

La resolución espacial (qué tan pequeños son los objetos que se pueden reconocer), resolución espectral (cuántas subdivisiones del rango de longitud de onda pueden ser observados) y resolución temporal (la frecuencia con la que una misma área puede ser observada) determinan el rendimiento de un sensor. Un sensor apropiado debe escogerse de acuerdo al objetivo, el propósito y la escala (área) de la observación. La resolución espacial varía típicamente desde varios centímetros hasta cerca de 1 metro en fotografías aéreas, y a partir de 40 cm a varios kilómetros en imágenes satelitales; la resolución temporal varía desde un día a decenas de días; y la resolución espectral varía desde una banda que se extiende sobre el rango completo de longitud de onda de un sensor hasta varios cientos de bandas.

Una imagen de resolución espacial alta con una resolución de 1 metro o menos es requerida para adquirir información sobre árboles individuales. Por lo tanto, si el área objetivo es extensa, el volumen de datos que se requieren es muy grande y su procesamiento se torna muy difícil. Más aún, dado que el área que puede ser observada en un momento determinado se hace pequeña a medida que la resolución espacial es mayor, se torna más difícil cubrir una área extensa en un período corto de tiempo a medida que se necesite una mayor resolución espacial. Para la adquisición de información sobre una masa forestal, una imagen de resolución media (una que tenga una resolución espacial desde 10m a varias decenas de metros) puede ser apropiada, pero para ser capaz de distinguir diferentes grados de degradación entre masas forestales la resolución espacial tiene que ser alta. Si el propósito es tan sólo el de distinguir bosque de no bosque, un sensor con una banda visible y una banda de longitud de onda infrarroja cercana es suficiente.

Cuando el objetivo es un bosque, se asume usualmente que la resolución temporal no necesita ser muy alta. Sin embargo, para un sensor óptico satelital la resolución

temporal necesita ser considerada en conjunto con la frecuencia sobre la cual los datos pueden ser adquiridos. Si toda la región objetivo no puede ser observada de una sola vez, es necesario crear un mosaico de múltiples observaciones obtenidas aproximadamente en la misma fecha. Por lo tanto, en los trópicos y regiones monzónicas donde las nubes usualmente obscurecen la observación de la superficie de la tierra desde el cielo, un sensor con resolución temporal alta es ventajoso. La resolución temporal puede ser incrementada si la observación oblicua es posible o si ésta puede ser hecha por uno o más satélites.

Presente, pasado y futuro

Las imágenes de sensoramiento remoto archivadas pueden ser vistas como una máquina de tiempo que viaja hacia el pasado. Ninguna otra fuente de datos ha registrado información temporal y espacial de tal precisión sobre el pasado. Registros del Sistema de Escaneo Multi-espectral (MSS) a bordo del Landsat 1, el primer satélite de observación terrestre del mundo, datan de los años 70. Sin embargo, naturalmente, mientras más atrás en el pasado se hayan obtenido los registros, es más probable que el rendimiento del sensor se haya deteriorado o que el sensor haya fallado. Por lo tanto, el tipo de sensor puede cambiar o las imágenes pueden ser adquiridas con menos frecuencia temporal y el área de cobertura puede ser cada vez más pequeña. Los datos de la imagen capturados por cada sensor pueden haber sido almacenados por la organización que los haya adquirido o archivados en un centro de archivos. Recientemente, los datos de muchos sensores y plataformas se han puesto a disposición en la web desde donde pueden ser buscados y copiados a una computadora local.

En relación a una futura adquisición de datos de imágenes, es posible realizar órdenes de adquisición por adelantado con un costo adicional para ciertos tipos de sensores / satélites.

Selección de datos de imágenes

Los datos de sensores ópticos disponibles tomados por sensores satelitales están resumidos en la tabla T05-1. Imágenes satelitales Landsat en el archivo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) pueden ser grabados a una computadora local de forma gratuita desde su página web. En la página principal de la landsat.org (<http://landsat.org>) algunas de las imágenes orto-rectificadas Landsat están también disponibles de forma gratuita. Sin embargo, no todas las imágenes Landsat se encuentran almacenadas en el archivo de la USGS, así que es necesario buscar en

las páginas web de las organizaciones que distribuyen datos de imágenes para cada país, lo que puede llevar en la mayoría de los casos a un costo. Más aún, puede ser necesaria la compra de imágenes satelitales adquiridas por corporaciones tales como GeoEye, DigitalGlobe, SpotImage o de agencias locales.

Software

El software de retoque general de fotos puede ser usado para procesamiento simple y/o elemental tal como la exhibición en color compuesto. Sin embargo, para procesamiento y análisis avanzados se requiere de software especializado para análisis de imágenes de sensoramiento remoto. Para este propósito, opciones de software gratuito o de código abierto (los cuales usualmente trabajan tan bien como el software comercial) están cada vez más disponibles. A pesar de que el precio puede ser un factor limitante en la selección del software, adicionalmente al precio de compra es importante considerar el sistema de soporte al usuario, frecuencia de actualizaciones tales como reparación de errores, la existencia de una comunidad de usuarios y la provisión de entrenamiento. En general, el uso de un mismo software para personas de un mismo grupo de trabajo u organización es una ventaja porque se pueden ayudar mutuamente y las preguntas pueden ser contestadas de manera inmediata.

Tabla T05-1 Especificaciones y precios de los sensores ópticos espaciales principales.

(Los datos de precio son principalmente precio de venta en Japón, a la fecha de julio de 2012)

Satélite	Sensor	Año de lanzamiento	Final de operación	Resolución superficial	Ancho de observación (km)	Observación fuera de nadir	Longitud de onda de observación (entre paréntesis la cantidad de bandas)	Altura (km)	Ciclo de repetición (días)	Revisita (días)	Captura por pedido	Precio de escenario completo (yenes)	Precio por área (yenes/km ²)	Operador	Comentario
Landsat 1-3	MSS	1972	1983	68 x 83 m	185	x	Visible (2), infrarrojo cercano (2)	915	18	18	x	40 740 *	1.3	EEUU (NASA)	* USGS publica gratuitamente los datos de Landsat (http://glovis.usgs.gov , http://earthexplorer.usgs.gov)
Landsat 4-5	MSS	1982	1995*	68 x 83 m	185	x	Visible (2), infrarrojo cercano (2)	705	16	16	x	40 740*	1.3	EEUU (NASA)	* Parte de observación se reanudó en 2012
	TM	1982	En operación	30 m (banda 6: 120m)	185	x	Visible (3), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (2), infrarrojo térmico (1)				x	88 200*	2.8		* Suspendido desde 2011
Landsat 7	ETM+	1999	En operación*	30m (banda 6: 60m, banda 8: 15m)	183	x	Visible (3), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (2), infrarrojo térmico (1), visible a infrarrojo cercano (1)	705	16	16	x	88 200*	2.8	EEUU (NASA)	* SLC fuera de servicio a partir de 2003
EO 1	ALI-Pan, MS	200	En Operación	MS:30m Pan: 10m	37	x	Pan: Visible (1) MS: Visible (4), infrarrojo cercano (3), infrarrojo intermedio (3)	705	16	16		0	0	EEUU (NASA)	Descarga gratuita en http://eo1.usgs.gov/
	Hyperion			30m	7.5	x	Visible a infrarrojo intermedio (220)									16
EOS-Terra/EOS Aqua	MODIS	1999	En operación	250m/500m/1km	2330	x	250m: Visible (1), infrarrojo cercano (1) 500m: visible (2), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (2), 1km: Visible (7), infrarrojo cercano (5), infrarrojo intermedio (9), infrarrojo térmico (8)	705	16	16		0	0	EEUU (NASA)	Descarga gratuita en http://reverb.echo.nasa.gov/reverb
Spot 1-3	HRV-XS, P	1986	1993	XS:20m P:10m	60	O	XS: Visible a infrarrojo cercano (1) P: Visible (1)	822	26	3.7	x	294 000*	8.2	Francia (Spot Image)	*XS y P tienen el mismo precio para una escena nivel 2A SPOT
Spot 4	HRVIR-X, M	1998	En operación	X: 20m P:10m	60	O	X: Visible (2), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (1) M: Visible (1)	822	26	3.7	O	294 400*	8.2	Francia (Spot Image)	*XS y P tienen el mismo precio para una escena nivel 2A SPOT
Spot 5	HRG-X, P	2002	En operación	X: 10/20m P:5/2.5m	60	O	X: Visible (2), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (1) P: Visible (1)	822	26	2-3	O	521 850*	145	Francia (Spot Image)	*X de resolución de 10m y P de 5m tienen el mismo precio para una escena nivel 2A SPOT
Spot 4-5	VEGETATION	1998	En operación	1.15km	2250	X	Visible (2), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (1)	822	26	1	X	0	0	Francia (Spot Image)	Descarga gratuita en http://free.vgt.vito.be/
Pleiades	Pan/Multi	2011	En operación	Pan: 0.7m Multi:2.8m	20	O	Pan: Visible a infrarrojo cercano (1), Multi: Visible (3), infrarrojo cercano (1)	694	26	1	O	*	*	Francia (Spot Image)	* Precio no definido
IRS 1A, 1B	LISS-I, II	1988	2003	I: 73 II:36.5m	I:185 II:37	X	Visible (3), infrarrojo cercano (1)	904	22	22	X	?	?	India (ISRO)	
IRS 1C, 1D	LISS-III	1995	2010	23.7/73km	100	O	Visible (2), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (1)	817	24	3	x	128 100	6.5	India (ISRO)	* Precio de LISS-140 adquirido desde Abril de 2001
	Pan			0.9km	1500	X	Visible (2)				x	128 100	26.1		* Precio de PAN-70 adquirido desde Abril de 2001
IRS-P2	LISS-II	1994	1997	32x27m	131	O	Visible (3), infrarrojo (1)	817	24	5	X			India (ISRO)	
IRS-P6 (Resourcesat 1)	LISS-III, IV	2003	En operación	III: 23.5 IV: 5.8	III: 140 IV:23	O	III: Visible (2), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (1) IV: visible (2), infrarrojo cercano (1)	817	24	5		270 000*	13.8	India (ISRO)	*En EUR para EuroMap, precio de LISS-III Multi 140*140km, calculado en base a 1EUR=100 yenes
MOS 1,1b	MESSR	1987	1996	50m	100	X	Visible (2), infrarrojo cercano (2)	909	17	17	x	2 310	0.3	Japón (NASDA)*	*Actual JAXA
ALOS	AVNIR-2	2006	2011	10m	70	O	Visible (3), Infrarrojo cercano (1)	692	46		X	26 250*	5.4	Japón (JAXA)	*Precio de datos de procesamiento estándar de objetivo de uso A (objetivo de uso interno)
	PRISM			2.5m	35	Anterior y posterior	Visible a infrarrojo intermedio (1)				46	X	26 250*			21.4
EOS-Terra	ASTER-VNIR, SWIR, TIR	1999	En operación	VNIR: 15m SWIR: 30m TIR:90m	60	O	VNIR: Visible (2), infrarrojo cercano (1) SWIR: Infrarrojo intermedio (6) TIR: Infrarrojo térmico (5)	705	16		O	10 290*	2.9	Japón (ERSDAC)	*Precio de nivel 1B
IKONOS 1	Pan/Multi	1999	En operación	Pan: 1m, Multi:4m	11	O	Pan: Visible a infrarrojo cercano (1), Multi: visible (3), infrarrojo cercano (1)	681	11	1.6	O	-	4 500*	EEUU (GeoEye)	*Geo Product, precio del set Pan+Multi, superficie mínima a ser solicitada 25 km ²
QuickBird	Pan/Multi	2001	En operación	Pan: 0.61m, Multi: 2.5m	16.5	O	Pan: Visible a infrarrojo cercano (1), Multi: visible (3), infrarrojo cercano (1)	450	20	1 a 3.5	O	-	3 400*	EEUU (Digital Globe)	*Precio de paquete imagen estándar Pan + 4 bandas Multi, superficie mínima 25 km ²
GeoEye1	Pan/Multi	2008	En operación	Pan: 0.41m, Multi: 1.65m	15.2	O	Pan: Visible a infrarrojo cercano (1), Multi: visible (3), infrarrojo cercano (1)	684	11	3	O	-	9 000*	EEUU (GeoEye)	*Geo Product, precio del set Pan + Multi, superficie mínima a ser solicitada 25 km ²
WorldView 1	Pan	2007	En operación	0.5 a 0.59m	17.6	O	Visible a infrarrojo cercano (1)	496		1.7	O	-	2 800*	EEUU (Digital Globe)	*Precio de imagen estándar, superficie mínima 25 km ²
WorldView 2	Pan/Multi	2009	En operación	Pan: 0.46m, Multi: 1.84m	20	O	Pan: Visible (1) Multi: visible (5), infrarrojo cercano (3)	770		1.1	O	-	6 400*	EEUU (Digital Globe)	*Precio paquete de imagen estándar Pan + 8 bandas Multi, superficie mínima 25 km ²
RapidEye1-5*	Multi	2008	En operación	6.5 m(5m luego de re muestreo)	77	O	Visible (3), infrarrojo cercano (2)	630	5.5	1	O	-	220**	Alemania (Rapid Eye)	* Lanzamiento simultáneo de 5 satélites ** Superficie mínima 500 km ²
THEOS	Pan/Multi	2008	En operación	Pan: 2m, Multi: 15 m	Pan: 22 Multi: 90	O	Pan: Visible a infrarrojo cercano (1), Multi: visible (3), infrarrojo cercano (1)	822	26	2		75 000*	Pan: 155.0 Multi: 9.3	Tailandia (GISTDA)	* Pan y Multi tiene mismo precio, 100 000 yenes para datos adquiridos en los últimos 6 meses
NOAA 6-19*	AVHRR	1979	En Operación	1.1km	2800	X	Visible (1), infrarrojo cercano (1), infrarrojo intermedio (2), infrarrojo térmico (2)	814	0.5	0.5	X	0	0	EEUU (NOAA)	*Satélite de observación meteorológica

Nubes y diferencias estacionales en imágenes

La Receta anterior es

Receta P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

Dos grandes problemas surgen usualmente cuando las imágenes de un satélite óptico es usado para observar el área extensa de un bosque tropical: primero, las nubes pueden oscurecer la superficie del suelo; y segundo, cambios en la vegetación estacional pueden ser confundidos por tipos de bosque diferentes cuando se utilizan escenas de varias imágenes. En esta receta se explican algunas maneras para lidiar con estos obstáculos.

Remoción de nubes

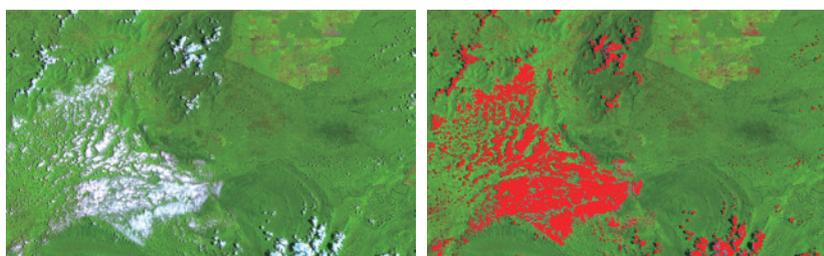
La niebla y las nubes junto con sus sombras sobre el suelo son obstáculos para la observación de la superficie basada en imágenes de un satélite óptico. En los trópicos, en particular, los cielos nublados son comunes y las imágenes satelitales libres de nubes son adquiridas muy de vez en cuando.

La remoción de nubes es un conjunto de procesos que crean una imagen mosaico libre de nubes al juntar partes sin nubes de múltiples imágenes adquiridas dentro de un período de tiempo determinado. El primer paso es la detección y remoción de las nubes, niebla y sus sombras en cada imagen (Figura T06-1). La interpretación visual en pantalla es una técnica confiable para la identificación y enmascaramiento de las nubes, pero la interpretación manual requiere de una cantidad de tiempo y atención considerables, especialmente cuando existe nubes pequeñas dispersas en la imagen. Una solución realista puede ser el combinar interpretaciones visuales con el uso de uno de los algoritmos disponibles de remoción automática de nubes ¹⁾.

El siguiente paso es el de crear un mosaico con las partes de las imágenes sin nubes (Fig. T06-2). A pesar que la imagen mosaico muestra el bosque entero sin nubes, las condiciones de adquisición de la imagen (tales como la dirección y ángulo del sol y las características estacionales de la vegetación) pueden ser diferentes en diferentes partes de la imagen mosaico dado que las imágenes fueron adquiridas en fechas distintas.

INFO

1) Zhu Z, Woodcock CE (2012) Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote sensing of Environment 118: 83-94



Antes de procesamiento

Luego del procesamiento

Figura T06-1 Remoción de Nubes

Las nubes son extraídas empíricamente con la detección apropiada de valores umbral. Landsat 7 ETM+ (Malasya).

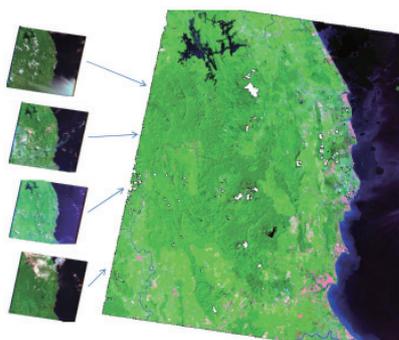


Figura T06-2 Imagen mosaico libre de nubes

Este mosaico fue creado al reemplazar las partes cubiertas de nubes de una imagen con las partes sin nubes de otras tres imágenes obtenidas para la misma área geográfica. Las nubes fueron removidas de cada imagen de forma automática usando uno de los algoritmos disponibles ¹⁾. Los parches blancos en la imagen mosaico son áreas cubiertas por nubes en todas las imágenes individuales. Imágenes Landsat 7 ETM+ (Malasya).

Ajuste de la estacionalidad

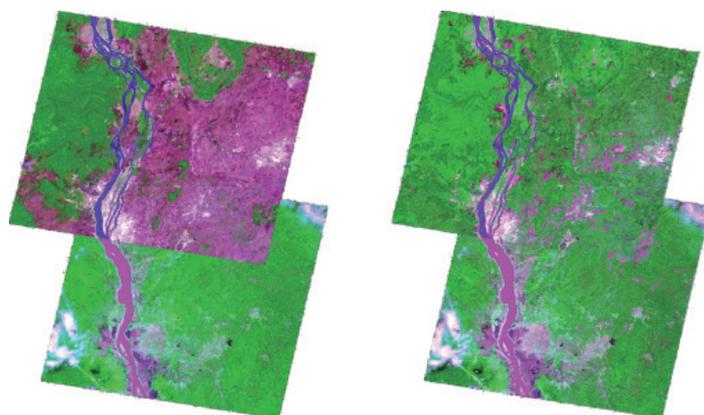
Cuando el área de bosque objetivo es mas extenso que el área cubierta por una sola escena de imagen satelital, por ejemplo cuando el área objetivo es todo un país, entonces es necesario usar múltiples escenas. Si las imágenes de la escena requerida son obtenidas para un período de tiempo largo, entonces la reflectancia de la vegetación será probablemente diferente como resultado de los cambios estacionales de la vegetación, especialmente en el caso de tipos de bosque que muestran cambios estacionales extensos cada año. Por ejemplo, en el caso de los bosques estacionales tropicales, el dosel del bosque se llena de hojas en la temporada lluviosa y las deja caer durante la temporada seca. El bosque sin hojas puede ser erróneamente interpretado o clasificado como suelo desnudo o pastura, dependiendo de la cantidad de crecimiento en el estrato inferior. Adicionalmente, una imagen mosaico de múltiples escenas puede mostrar discontinuidades abruptas irreales entre los bordes de escenas adyacentes si las escenas fueron obtenidas durante diferentes estaciones.

Para evitar este problema, la diferencia de la fecha de adquisición entre imágenes debe ser lo más pequeña posible para que los cambios estacionales sean menores. Si esto no es posible, se debe aplicar un ajuste estacional a las imágenes antes de realizar la clasificación de la cobertura del suelo del área en cuestión, o la clasificación deberá ser aplicada a cada imagen por separado para luego compilar los mapas de cobertura de suelo en un solo mapa que cubra toda el área de interés.

El ajuste de histogramas es una técnica empleada para ajustar las diferencias estacionales entre imágenes. En esta técnica, las reflectancias espectrales de objetos conocidos e invariables son comparados entre las imágenes para luego ajustar empíricamente los histogramas de reflectancia de las imágenes a la de la imagen de referencia ²⁾. La Figura T06-3 muestra un ejemplo de pares de imágenes antes y después de un ajuste estacional.

INFO

2) Roy DP, Ju J, Lewis P, Schaaf C, Gao F, Hansen M, Lindquist E (2008) Multi-temporal MODIS–Landsat data fusion for relative radiometric normalization, gap filling, and prediction of Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, 112: 3112-3130



(a) Imágenes originales (b) La imagen superior ajustada a la imagen inferior

Figura T06-3 Ajuste estacional (Langner, no publicado).

Las imágenes superior e inferior fueron derivadas durante mediados y durante el inicio de la temporada seca respectivamente. Los bosques caducifolios están ya defoliados en la imagen superior, mientras que en la imagen inferior aún retienen sus hojas. Después de un ajuste estacional, los valores de reflectancia de la imagen superior fueron ajustados para encajar con la imagen inferior.

© CNES2007, Distribution Astrium Services/ Tokyo Spot Image

Definición de clases

La Receta anterior es

Receta P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

Para estimar el área de un bosque mediante la clasificación de cobertura de suelo usando datos de sensoramiento remoto, se necesitan definir clases de cobertura de suelo mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas como bosques, campos de cultivo, zonas urbanas. Aquí se explica lo que quiere decir "mutuamente excluyente y colectivamente exhaustivo" y se discuten el diseño del sistema de clasificación y las maneras de mejorar la precisión de la clasificación.

Clases mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas

Clases de cobertura de suelo deben ser definidas de tal manera que sean mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas. Aquí "colectivamente exhaustivo" significa que las clases son definidas de tal forma que todas las partes del dominio de la clasificación puedan ser asignadas a una clase sin dejar ninguna parte sin clasificar. Para lograr esto, no sólo los objetos de interés sino también los que no lo son deben ser clasificados. Más aún, las clases deben ser "mutuamente excluyentes" lo que quiere decir que la superposición entre las clases no debe ser permitida. Así, una clase no puede ser subconjunto de otra. Por ejemplo, "bosque" y "bosque perennifolio" no pueden ambas ser definidas como clases dado que "bosque perennifolio" es solo una parte de "bosque".

Las clases de cobertura de suelo pueden ser vistas a partir de una estructura jerárquica y considerarla a conciencia es de ayuda para definir clases mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas. Por ejemplo, en el nivel superior de la jerarquía, el sistema de clasificación puede incluir clases tales como bosque, campos de cultivo y zonas urbanas. En el nivel inferior, la clase bosque puede ser dividida en la clase "bosque perennifolio" y en la clase "bosque caducifolio" ¹⁾ (Figura T07-1). Al considerar esta estructura, en la que las clases más inclusivas en el nivel superior son divididas en clases más detalladas en un nivel inferior, la duplicidad y superposición entre clases puede ser evitada.

INFO

1) Campbell JB (2006) Image classification In: Introduction to Remote Sensing Fourth Edition. Guilford Press, 324-366

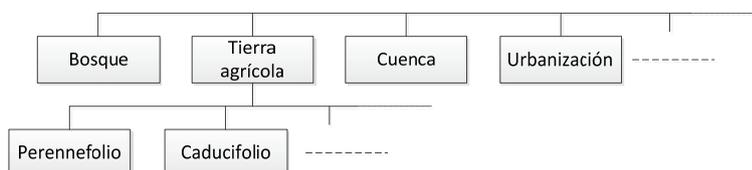


Figura T07-1 Estructura jerárquica de clases

Sistemas de clasificación deseables y posibles

Las clases deseadas y las clases que pueden en realidad ser distinguidas con datos

de sensoramiento remoto no guardan concordancia necesariamente ²⁾, y cuando no lo son es necesario reconciliar los dos sin introducir inconsistencias en el sistema de clasificación existente.

Una manera de lograr esta reconciliación y satisfacer las necesidades del usuario es cambiar el tipo de datos de sensoramiento remoto o la técnica usada para clasificar esos datos. Por ejemplo, la clasificación a un nivel más detallado es posible si se usan datos con una resolución espacial más alta. Adicionalmente, según la fecha de adquisición, una clase como la de "bosque caducifolio" puede verse de forma muy diferente. Por lo tanto, mediante el uso de imágenes adquiridas en fechas diferentes, puede ser posible distinguir un bosque perennifolio de un bosque caducifolio. Así, el tipo de los datos y la técnica de clasificación debe ser seleccionada en el momento que las clases son definidas.

INFO

2) Cihlar J, Ly H, Xiao Q (1996) Land cover classification with AVHRR multichannel composites in northern environments. *Remo Sens Environ* 58: 36-51

Integración de clases después de la clasificación

Cuando la clasificación basada en datos de sensoramiento remoto con clases definidas por el usuario es difícil, la precisión de la clasificación puede ser baja. En tal caso, puede ser posible incrementar la precisión de la clasificación mediante la fusión de dos o más clases después de la clasificación inicial. Sin embargo, se debe tener cuidado de que la clase fusionada no sea inconsistente con el sistema de clasificación existente.

Adicionalmente, áreas diferentes que pertenecen a una clase pueden no ser clasificadas en la clase que corresponde debido a que parecen diferentes en la imagen de sensoramiento remoto por diferencias en características topográficas por ejemplo.

En un caso, un área de bosque de una pendiente expuesta al sol puede aparecer distinta a un área de bosque en una pendiente a la sombra, y las dos áreas pueden ser colocadas en clases diferentes aún cuando ambas áreas deben ser clasificadas como bosque (Figura T07-2). En tal caso, las clases separadas pueden fusionarse (bosque en pendiente iluminada con bosque en pendiente bajo sombra) durante el proceso de post-clasificación lo cual incrementará la precisión de la clasificación.

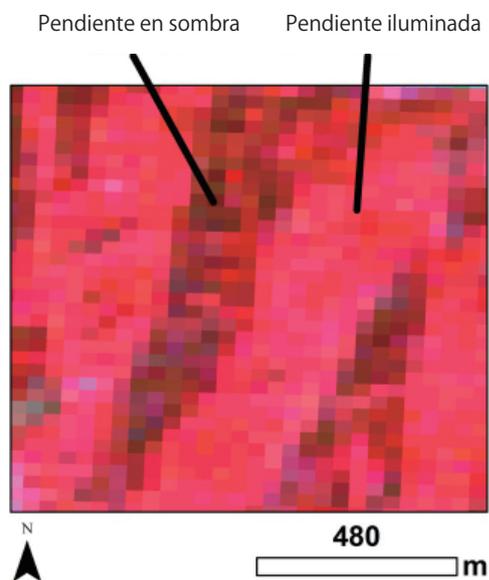


Figura T07-2 Bosques con pendiente iluminada y pendiente en sombra

Bibliografía

Franklin SE (2001) *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Lewis Publishers

"Ground Truth"

La Receta anterior es

Receta P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

"Ground Truths" significa "las condiciones reales del terreno en el objetivo" y son usados para confirmar las clases y los estimados basados en datos de sensoramiento remoto así como para verificar los resultados. Tomar datos "Ground Truth" es referido como "Ground Truthing". Se requiere precisión no solo en las condiciones terrestres sino también en la localización geográfica para que los datos "Ground Truth" puedan ser exactamente comparados con los resultados de los datos de sensoramiento remoto en las localizaciones correspondientes. Estos datos deben ser distribuidos en un número suficiente y de una manera estadísticamente satisfactoria para que los resultados de los análisis sea robustos e imparciales.

"Ground Truth"

Se denomina "Ground Truth" (verdad en terreno) a la información sobre condiciones terrestres reales observadas, medidas y colectadas para confirmar la correspondencia entre los datos de sensoramiento remoto y el objetivo de observación. Los datos "Ground Truth" son usados como datos auxiliares para la creación de modelos para analizar los datos de sensoramiento remoto y verificar los resultados, y como datos de entrenamiento y verificación a partir de tipos de cobertura de suelo para ser usados en la clasificación de cobertura de suelo.

Cuando las condiciones del suelo o la limitada accesibilidad hacen del estudio de campo una tarea difícil, se pueden utilizar imágenes satelitales de alta resolución, fotografías aéreas e información de mapas existentes en lugar de datos de campo. En tales circunstancias, éstos también son "Ground Truths" en un sentido amplio de la definición.

Información de la posición y precisión del "Ground Truth"

Las coordenadas geográficas de los datos "Ground Truth" son usualmente tomadas usando un sistema de posicionamiento global (GPS), mapas existentes o interpretación de fotos aéreas o imágenes satelitales.

Cuando se usa el GPS, se debe tener en cuenta que la precisión bajo el dosel puede ser menor que en áreas abiertas. Por lo tanto, la posición se identifica con la combinación de los métodos mencionados arriba dependiendo de las circunstancias. La precisión de la información de la posición puede ser mejorada al mejorar la precisión de la posición dada por el GPS usando posicionamiento diferencial o resultados de posicionamiento promedio. La precisión requerida de la posición varía dependiendo de la resolución espacial de los datos de sensoramiento remoto que son usados. Para un análisis basado en objetos, se debe mencionar que los datos "Ground Truth" deben pertenecer a diferentes segmentos. Adicionalmente, dado que el estado de la vegetación del bosque cambia de acuerdo a la estación del año, o de año a año, se debe también tener en cuenta la fenología de la vegetación (diferencias estacionales de la vegetación) particularmente cuando se usa un índice de vegetación o cuando el bosque objetivo es uno en el que operan amplios cambios estacionales (por ejemplo, el bosque tropical caducifolio).

Una cámara fotográfica con GPS es un instrumento útil para documentar las circunstancias de los datos "Ground Truth", ya que puede registrar coordenadas en el lugar donde se toma la fotografía directamente en la misma.

INFO

1) Jones HG, Vaughan RA (2010) Remote sensing of vegetation: Principles, techniques, and applications. Oxford University Press

INFO

2) Jensen JR (2005) Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (Third edition). Prentice Hall

INFO

3) Hirzel AH, Guisan A (2002) Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. Ecol Model 157: 331-341

Método de muestreo

El "Ground Truth" puede ser muestreado de una manera estadísticamente apropiada. El método de muestreo ha tenido varias maneras tales como un muestreo aleatorio simple, muestreo estratificado y muestreo sistemático; y claro, cada método tiene sus ventajas y desventajas ^{1),2)} (Figura T08-1, Tabla T08-1). El muestreo estratificado es un método efectivo para obtener resultados válidos estadísticamente. Para no hacer que el número de muestras necesarias sea muy grande sin sacrificar la robustez del resultado, el número de muestras tomadas de cada estrato puede ser ajustada de acuerdo al área total a muestrear ³⁾. Más aún, para no dejar que los costos sean excesivos, el muestreo estratificado puede ser combinado con un muestreo por transecto lineal a través de un gradiente ambiental. ⁴⁾

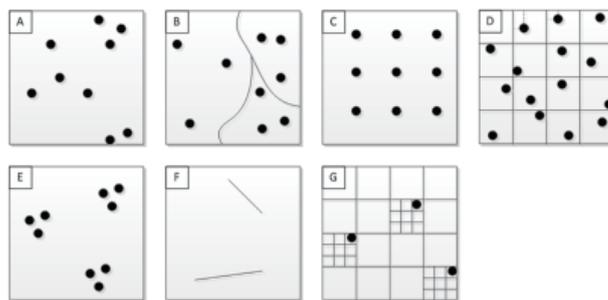


Figura T08-1 Estrategias de muestreo.

Descripciones de la A a la G se encuentran en la Tabla T08-1

Número de muestras

El número requerido de datos "Ground Truth" a ser usadas como muestras para una clasificación supervisada se asume más de 10 veces el número de variables explicativas usadas (Por ejemplo, el número de bandas espectrales) ^{1),2)}. Mientras más heterogénea es la muestra, un número mayor de muestras es requerido. Asimismo, se dice que el número de datos "Ground Truth" por clase a ser usadas como muestras de verificación de los resultados de la clasificación es más de 50, determinadas desde un punto de vista de llegar a un balance entre la suficiencia estadística y la viabilidad en el terreno ^{2),5)}. Adicionalmente, los datos "Ground Truth" usados para la verificación deben ser independientes a aquellos usados para el entrenamiento del modelo, con el objetivo de no sobre-estimar la precisión con los mismos datos de entrenamiento.

INFO

4) Wessels KJ, Jaarsveld AS, Grimbeek JD, Van Der Linde MJ (1998) An evaluation of the gradsect biological survey method. *Biodivers Conserv* 7: 1093-1121

INFO

5) Congalton RG, Green K (1999) *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. CRC Press

Bibliografía

McCoy RM (2004) *Field Methods in Remote Sensing*. Guilford Press

Tabla T08-1 Ventajas y desventajas de las estrategias de muestreo (las palabras azules han sido modificadas siguiendo Jones y Vaughan, 2010)

No	Método de extracción	Ventaja	Desventaja
A	Aleatoria simple (simple random)	Estadísticamente es deseable. Difícil que haya parcialidad	Posible inaccesibilidad a puntos en terreno complicado Categorías pequeñas pero importantes pueden no ser muestreadas adecuadamente, o ignoradas Puntos no distribuidos uniformemente sobre el área de estudio.
B	Aleatoria estratificada (stratified random)	Reduce la posibilidad de categorías no muestreadas. Evita la parcialidad de operadores en gran parte. Usualmente es la estrategia más eficiente.	Posible inaccesibilidad a puntos en terreno complicado. Se requiere adicionalmente un mapa temático que cubra el sitio de estudio para la estratificación.
C	Sistemático (systematic (regular))	De fácil muestreo. De dispersión uniforme en el terreno.	Existen casos en que coincide la periodicidad oculta del sujeto de observación (cretas y valles, entre otros) y el intervalo de muestreo. Es difícil captar sujetos en forma de línea. Sobre-estimación o sub-estimación de categorías ocurre según el tamaño de la población.
D	Sistemático no alineado (systematic unaligned)	De fácil muestreo. De dispersión uniforme en el terreno. Se mantiene un grado de aleatoriedad limitado por un grillado.	La distribución y orientación de puntos del muestreo sistemático, dependerá del primer punto Posible parcialidad donde las características lineales de paisaje existen. Sobre-estimación o sub-estimación de categorías ocurre según el tamaño de la población.
E	Conglomerado (cluster)	Reduce los costos de viaje en el campo. Algunas combinaciones de conglomerados y muestreo estratificado provee un mejor balance de validez estadística y aplicación práctica (Jensen, 2005).	Sujeto a autocorrelación espacial.
F	Transecto (transect)	De fácil muestreo. Buen método cuando los gradientes pre-existentes son conocidos (por ejemplo, la altitud).	Sujeto a parcialidad dependiendo de cómo los transectos son escogidos. Cobertura incompleta.
G	Multietapas (multistage)	Costo menor de muestreo. Normalmente es más preciso que el muestreo en conglomerados con el mismo tamaño de muestra. Efectivo para el uso de imágenes satelitales con resolución espacial diferente.	Normalmente es menos preciso que el muestreo aleatorio simple o estratificado con el mismo tamaño de muestreo.

Método de clasificación

La Receta anterior es

Receta P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

Para crear un mapa de cobertura de suelo de alta precisión a partir de datos satelitales, es importante la selección de un método de clasificación apropiado. Los métodos de clasificación son divididos a grosso modo en dos tipos: supervisados, los cuales usan datos de entrenamiento; y no supervisados. Asimismo, de forma adicional a la tradicional unidad mínima de clasificación que es el píxel, la clasificación también puede darse usando un objeto como unidad mínima. Aquí se describen los métodos de clasificación usados para el análisis de datos satelitales.

Clasificación en sensoramiento remoto

Se llama clasificación de cobertura de suelo al proceso de asignación de una clase de cobertura de suelo a cada píxel utilizando características tales como la reflectancia espectral a partir de datos satelitales, y dos enfoques estadísticos usados en este proceso son la clasificación supervisada y la clasificación no supervisada. La clasificación supervisada usa datos de entrenamiento (un conjunto de datos cuyas características sirven como referencia para las clases designadas), el cual no es el caso para la clasificación no supervisada.

En la clasificación supervisada se construye un modelo para la identificación de una clase (clasificador) mediante el uso de datos de entrenamiento, asignando una clase a cada píxel desconocido de acuerdo a este modelo. Para este tipo de clasificación, el método de probabilidad máxima es usualmente empleado.

En la clasificación no supervisada, el grado de similitud entre píxeles se determina usando sólo imágenes satelitales, y todos los píxeles son divididos en conjuntos similares de píxeles llamados conglomerados (clusters). Dado que este método de

análisis no asigna una clase por sí mismo (Figura T09-1), un analista necesita eventualmente interpretar el resultado y asignar una clase a cada conglomerado o conjunto de conglomerados. Los resultados son interpretados por comparación con datos "Ground Truth". Una técnica típica de clasificación no supervisada es ISODATA.

Otras técnicas tales como la construcción de un mapa auto-organizativos, árbol de clasificación o una red neuronal pueden ser usadas también para la clasificación.

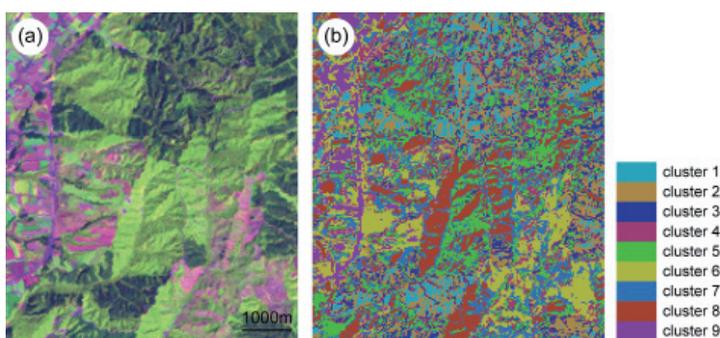


Figura T09-1 Clasificación no supervisada por ISODATA

(a) Imagen original – Landsat ETM+

(b) Resultado: mapa de clases con 9 conglomerados

Clasificación basada en píxeles y clasificación basada en objetos

En un bosque, un píxel de datos satelitales de mediana resolución (por ejemplo

30 m x 30 m) representa radiación solar reflejada desde varias partes a una o más copas de árboles. El píxel puede incluir partes de la copa que son iluminadas por la radiación solar y partes a las que la radiación solar no puede llegar. Sin embargo, en el caso de datos satelitales de alta resolución, un solo píxel es más pequeño que la copa de un árbol, así que un píxel representaría la reflexión de la radiación solar de sólo una pequeña parte de ésta. Como resultado, píxeles diferentes mostrando la reflexión del mismo objeto (la copa de un árbol) pueden tener valores variados. La variación interna por clase resultante puede llegar a ser excesiva y puede hacer difícil el obtener un resultado de clasificación apropiado. Para evitar este problema, se usa la clasificación basada en objetos en la que grupos de píxeles adyacentes espacialmente con valores de características similares son usadas como la mínima unidad.

En la clasificación basada en objetos, los valores de los píxeles usados como valores de características en la clasificación basada en píxeles son usados para calcular el valor promedio de un objeto. Adicionalmente, varias otras características de objetos determinados por segmentación, tales como la varianza de los valores de los píxeles y la textura o forma del objeto, pueden ser usados en la clasificación. Una ventaja de la clasificación basada en objetos es que el proceso de segmentación no generaría patrones de "sal y pimienta" en el mapa de cobertura del suelo. La clasificación basada en objetos es efectiva no solamente para imágenes satelitales de alta resolución sino también para imágenes satelitales de mediana resolución, y ha sido utilizada en el Estudio Mundial de Teledetección de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010 (FRA2010) ¹⁾.

Debido a que los resultados de una segmentación son diferentes dependiendo de la configuración de parámetros iniciales en la clasificación basada en objetos (Figura T09-2), el error y ensayo es usado para determinar los valores óptimos de los parámetros. Adicionalmente, los valores de los parámetros son particulares para cada conjunto de datos, y por lo tanto valores apropiados deben ser seleccionados para sets de datos diferentes ²⁾. El tamaño del uso de suelo promedio del área objetivo, la unidad mínima de mapeo y otra información debe ser también tomada en cuenta cuando se definen los valores de los parámetros.

Los valores de los parámetros deben ser determinados tomando en consideración el promedio del tamaño del parche del área objetivo y la unidad mínima de mapeo.

Bibliografía

Bishop C.M. (2006) Pattern Recognition and Machine Learning. Springer

INFO

1) FAO, JRC, SDSU, UCL (2009) The 2010 Global Forest Resources Assessment Remote Sensing Survey: an outline of the objectives, data, methods and approach. Forest Resources Assessment Working Paper 155. FAO with FRA RSS partners

INFO

2) Un parámetro de escala es un parámetro que influncia el tamaño de salida de un objeto.

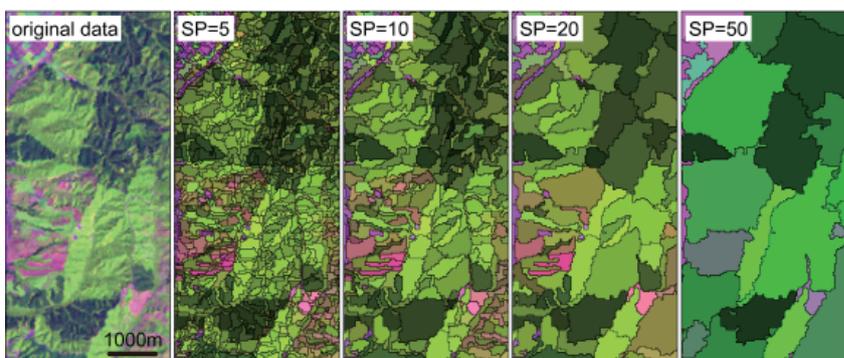


Figura T09-2 Resultados de la segmentación con diferentes parámetros de escala (Imagen original: Landsat ETM+)

Evaluación de la precisión

La Receta anterior es

Receta P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

Es altamente improbable que un mapa de cobertura de suelo obtenido mediante la clasificación de imágenes representará perfectamente la distribución de cobertura de suelo real; en lugar de ello, es muy probable que el mapa contenga errores y sesgos. El productor del mapa debe, por lo tanto, proveer información precisa sobre el mapa para que éste pueda ser usada de forma apropiada para la estimación del área del uso de la tierra y el cambio del uso de la tierra. Esta sección hace una descripción sucinta de la evaluación de la precisión de la clasificación y corrección de sesgos en la estimación del área usando la matriz de error. En un proyecto de mapeo real, un diseño de muestreo apropiado y un método de estimación del error correspondiente deben ser aplicados para reducir la incertidumbre en la matriz de error.

La matriz de error e indicadores de precisión

Un punto es clasificado correctamente si la clase del mapa (es decir, la clase de cobertura de suelo asignado por el procedimiento de clasificación) es idéntica a la clase de referencia (es decir, la clase de cobertura de suelo real en el punto en campo). Recíprocamente, un punto es clasificado erróneamente si la clase del mapa no es idéntica a la clase de referencia (Figura T10-1). Si suponemos que una imagen es clasificada en r clases, entonces una matriz de error (o un matriz de contingencia) es derivada como una matriz $r \times r$ cuyos elementos N_{ij} representan el área (es decir, el número de píxeles multiplicado por el área por píxel) de una clase i del mapa ($1 \leq i \leq r$), y la clase de referencia j ($1 \leq j \leq r$) (Tabla T10-1). En la matriz, el elemento diagonal N_{jj} ($1 \leq j \leq r$) representa un área que es correctamente clasificada en la clase de referencia j , y $N_{i.} = \sum_{j=1}^r N_{ij}$ es el área en el mapa que está clasificada en la clase i . $N_{.j} = \sum_{i=1}^r N_{ij}$ es el área en campo real que está en la clase de referencia j , y $N = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^r N_{ij}$ es el área total del mapa.

Precisión global A : La proporción del área correctamente clasificada del mapa, sin considerar una clase en particular, en relación al área total del mapa es 1 cuando el mapa concuerda perfectamente con la realidad del campo, y 0 cuando el mapa no concuerda en absoluto con la realidad. Una precisión objetivo de $A \geq 0.85$ es típica para muchos proyectos de mapeo de cobertura de suelo.

$$A = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^r N_{jj} \tag{T10-1}$$

Precisión del usuario au_i : La proporción del área correctamente clasificada en la clase i del mapa en relación al área total clasificada en la clase i del mapa. $1 - au_i$ recibe el nombre de error por comisión.

$$au_i = N_{ii} / N_{i.} \tag{T10-2}$$

Precisión del productor ap_j : La proporción del área correctamente clasificada en la clase j del mapa en relación del área total de la clase de referencia j . $1 - ap_j$ recibe el nombre de error por omisión.

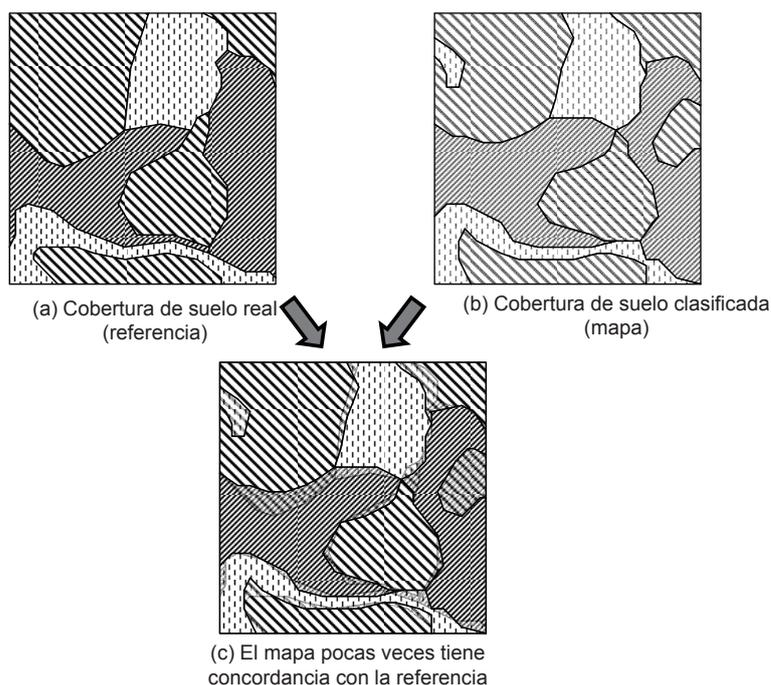


Figure T10-1 La cobertura de suelo real y clasificada

La referencia (a) es desconocida en muchos proyectos de mapeo. Para estimar los errores y sesgos del mapa (b), la cobertura real del suelo (es decir, el "ground truth") debe ser identificada y comparada con la cobertura de suelo clasificada en los puntos de la muestra.

Tabla T10-1 Matriz de error para toda la imagen (universo)

		Ítem de referencia					Sub total
		1	...	j	...	r	
Ítem de clasificación	1	N_{11}	...	N_{1j}	...	N_{1r}	$N_{1.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	i	N_{i1}		⋮		N_{ir}	$N_{i.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	r	N_{r1}	...	N_{rj}	...	N_{rr}	$N_{r.}$
Sub total		$N_{.1}$	...	$N_{.j}$	...	$N_{.r}$	N

$$ap_j = N_{jj} / N_{.j} \tag{T10-3}$$

Coefficiente Kappa κ : Un indicador de precisión de clasificación global, el cual toma en consideración el efecto de la clasificación correcta por coincidencia. El valor tiene el rango [0,1] en donde un valor más alto representa un mejor resultado de clasificación.

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r N_{ii} - \sum_{i=1}^r (N_{i.} N_{.i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (N_{i.} N_{.i})} \tag{T10-4}$$

Incertidumbre en la matriz de error y el "Ground Truth"

En la sección previa, una matriz de error completa sin incertidumbre es derivada asumiendo que la clase de referencia es conocida en cualquier punto en el mapa. Sin embargo, este no es el caso para proyectos de mapeo real, en los que muy pocas veces se tiene conocimiento completo de las clases de referencia (de lo contrario, no habría necesidad de tecnologías de sensoramiento remoto). Aquí se introducen métodos para estimar estadísticamente la matriz de error y los indicadores de precisión utilizando datos "ground truth" (ver T08). Un diseño de muestreo y procedimiento de cálculo apropiado deben ser aplicados para reducir apropiadamente la incertidumbre del error de la matriz.

Hay dos diseños de muestreo básicos para obtener datos "ground truth" para la evaluación de la precisión: muestreo aleatorio simple (SRS) y el muestreo estratificado (SS). En el SRS, se asume que la probabilidad de muestreo de la clase i del mapa y la clase de referencia j son proporcionales al área N_{ij} . Como sustituto a datos "ground truth" SRS, es posible utilizar un muestreo sistemático extensivo como un inventario forestal nacional si éste se encuentra disponible (ver T01). Cuando el tamaño de la muestra es pequeño, el error de clases ocupando áreas pequeñas puede ser

Tabla T10-2 Matriz de error de muestras aleatorias simples

	Ítem de referencia						Sub total	
	1	...	j	...	r			
Ítem de clasificación	1	n_{11}	...	n_{1j}	...	n_{1r}	$n_{1.}$	$N_{1.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	i	n_{i1}		⋮		n_{ir}	$n_{i.}$	$N_{i.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	r	n_{r1}	...	n_{rj}	...	n_{rr}	$n_{r.}$	$N_{r.}$
Sub total	$n_{.1}$	...	$n_{.j}$	...	$n_{.r}$	n		
	$\hat{N}_{.1}$	...	$\hat{N}_{.j}$	...	$\hat{N}_{.r}$			N

Tabla T10-3 Matriz de error de muestras estratificadas

Ítem de clasificación	Ítem de referencia					Sub total	
	1	...	<i>j</i>	...	<i>r</i>		
	1	n_{11}	...	n_{1j}	...	n_{1r}	$n_{1.}$
⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
<i>i</i>	n_{i1}		⋮		n_{ir}	$n_{i.}$	$N_{i.}$
⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
<i>r</i>	n_{r1}	...	n_{rj}	...	n_{rr}	$n_{r.}$	$N_{r.}$
	$\hat{N}_{.1}$	...	$\hat{N}_{.j}$	...	$\hat{N}_{.r}$		N

relativamente grande.

En SS, un número arbitrario de muestras se obtiene al azar de cada clase del mapa. En muchos proyectos de mapeo los datos "ground truth" son obtenidos de esta forma porque puede ser una manera de usar eficientemente los recursos del proyecto.

Las matrices de error derivadas del SRS y el SS son mostradas en las tablas T10-2 y T10-3 respectivamente.

Si n_{ij} es el número de muestras en la clase i del mapa y la clase de referencia j , entonces:

$$n_{i.} = \sum_{j=1}^r n_{ij}, n_{.j} = \sum_{i=1}^r n_{ij}, n = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^r n_{ij}$$

El número total de muestras n en SRS o el número de muestras en la clase i del mapa $n_{i.}$ en SS se determina arbitrariamente antes del muestreo.

El área total del mapa N y el área total de cada case del mapa $N_{i.}$ son ya conocidos. Sin embargo el área total de cada clase de referencia N_j es desconocida, aún si la meta del proyecto de mapeo es usualmente el estimar las áreas ocupadas por diferentes tipos de cobertura de suelo. Así, el estimado de N_j a partir de $\hat{N}_{.j}$ debe ser determinado.

Si π_i es la proporción de área de la clase i del mapa, entones \hat{p}_{ij} , un estimado de la proporción del área de la clase i del mapa y una clase de referencia j , se deriva de la siguiente manera:

$$\pi_i = N_{i.}/N \tag{T10-5}$$

$$\hat{p}_{ij} = \pi_i n_{ij}/n_{i.} \tag{T10-6}$$

A continuación, los indicadores de precisión son estimados con sus errores estándar (*SEs*) como sigue. Se hace notar que las ecuaciones señaladas con [SRS] o [SS] son cálculos para los diseños de muestreo SRS o SS, mientras que las ecuaciones que no están señaladas son cálculos comunes a ambos diseños SRS y SS.

INFO

1) Card DH (1982) Using Known Map Category Marginal Frequencies to Improve Estimates of Thematic Map Accuracy. Photo Engin Rem Sens 48: 431-439

Estimado del área la clase de referencia j ¹⁾:

$$\hat{N}_{.j} = N \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ij} \tag{T10-7}$$

$$SE(\hat{N}_{.j}) = N \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ij} (\pi_i - \hat{p}_{ij}) / (\pi_i n) \right\}^{1/2} \quad \text{[SRS]} \tag{T10-8}$$

$$SE(\hat{N}_{.j}) = N \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ij} (\pi_i - \hat{p}_{ij}) / n_i \right\}^{1/2} \quad \text{[SS]} \tag{T10-9}$$

Precisión global ¹⁾:

$$\hat{A} = \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ii} \tag{T10-10}$$

$$SE(\hat{A}) = \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i n) \right\}^{1/2} \quad \text{[SRS]} \tag{T10-11}$$

$$SE(\hat{A}) = \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / n_i \right\}^{1/2} \quad \text{[SS]} \tag{T10-12}$$

Precisión del usuario ¹⁾:

$$\hat{a}u_i = n_{ii} / n_i. \tag{T10-13}$$

$$SE(\hat{a}u_i) = \{ \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i^3 n) \}^{1/2} \quad \text{[SRS]} \tag{T10-14}$$

$$SE(\hat{a}u_i) = \{ \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i^2 n_i) \}^{1/2} \quad \text{[SS]} \tag{T10-15}$$

Precisión del productor ¹⁾:

$$\hat{a}p_j = \frac{N_j \cdot n_{jj}}{\hat{N}_{.j} n_j} = \frac{N_j}{\hat{N}_{.j}} \hat{a}u_j \tag{T10-16}$$

$$SE(\hat{a}p_j) = \left\{ \hat{p}_{jj} \left(\frac{\hat{N}_{.j}}{N} \right)^{-4} \left[\hat{p}_{jj} \sum_{i \neq j}^r \frac{\hat{p}_{ij} (\pi_i - \hat{p}_{ij})}{\pi_i n} + (\pi_j - \hat{p}_{jj}) \left(\frac{\hat{N}_{.j}}{N} - \hat{p}_{jj} \right)^2 / (\pi_j n) \right] \right\}^{1/2} \quad \text{[SRS]} \tag{T10-17}$$

$$SE(\hat{a}p_j) = \left\{ \hat{p}_{jj} \left(\frac{\hat{N}_j}{N} \right)^{-4} \left[\hat{p}_{jj} \sum_{i \neq j}^r \frac{\hat{p}_{ij}(\pi_i - \hat{p}_{ij})}{n_i} + (\pi_j - \hat{p}_{jj}) \left(\frac{\hat{N}_j}{N} - \hat{p}_{jj} \right)^2 / n_j \right] \right\}^{1/2} \quad [SS]$$

(T10-18)

khat (estimado del coeficiente kappa ^{2), 3), 4), 5)}:

$$\hat{\kappa} = \frac{n \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_i \cdot n_i}{n^2 - \sum_{j=1}^k n_i \cdot n_i} \quad [SRS] \quad (T10-19)$$

$$SE(\hat{\kappa}) = \left\{ \frac{1}{n} \left[\frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2-\theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4-4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \right\}^{1/2} \quad [SRS] \quad (T10-20)$$

$$\hat{\kappa} = \frac{N\hat{D} - \hat{G}}{N^2 - \hat{G}} \quad [SS] \quad (T10-21)$$

$$SE(\hat{\kappa}) = \left\{ \sum_{i=1}^r N_i^2 (1-f_i) \hat{V}_i / n_i \right\}^{1/2} \quad [SS] \quad (T10-22)$$

Las precisiones de las clasificaciones pueden ser comparadas usando estos estimados. Por ejemplo, asumiendo que $\hat{\kappa}_1$ y $\hat{\kappa}_2$ son los *khat* de dos resultados de clasificación diferente; entonces la hipótesis nula $H_0: \kappa_1 - \kappa_2 = 0$, es rechazada cuando la prueba estadística $Z = \frac{|\hat{\kappa}_1 - \hat{\kappa}_2|}{\sqrt{var(\hat{\kappa}_1) + var(\hat{\kappa}_2)}}$ es $Z \geq Z_{\alpha/2}$ si se asume que Z es distribuida normalmente, y en donde $Z_{\alpha/2}$ es el valor mínimo de Z para un nivel de significancia de $100(1-\alpha)$, el cual es igual a 1.96 o 2.58 cuando α es 0.05 o 0.01 respectivamente.

En terreno empírico, un mínimo de 50 muestras es recomendable para cada cobertura de suelo. Si el área es especialmente extensa o si hay un número grande de tipos de cobertura de suelo, entonces el número mínimo de muestras debe ser incrementada a 75 o 100 por tipo de cobertura de suelo ²⁾. Los datos "ground truth" para la evaluación de la precisión debe ser diferente e independiente a los datos "ground truth" usados como datos de entrenamiento; de otra manera, la precisión sería sobre-estimada.

INFO

2) Congalton RG, Green, K (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC Press, 137pp

INFO

3) donde, $\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r n_{ii}$,

$$\theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^r n_i \cdot n_i,$$

$$\theta_3 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^r n_{ii} (n_i + n_i),$$

$$\theta_4 = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r n_{ij} (n_i + n_j)^2$$

INFO

4) Stehman SV (1996) Estimating the Kappa Coefficient and its Variance under Stratified Random Sampling. Photo Engin Rem Sens 62: 401-407

INFO

5) donde, $\hat{D} = \sum_{i=1}^r \frac{N_i}{n_i}$,

$$\hat{G} = \sum_{i=1}^r N_i \cdot \hat{N}_i, \quad f_i = \frac{n_i}{N_i},$$

$$\hat{V}_i = \frac{u_i^2 - n_i \cdot \bar{u}_i^2}{n_i - 1},$$

$$\bar{u}_i = 1/n_i \cdot \left\{ n_{ii} \left[\frac{N}{N^2 - \hat{G}} \right] + \frac{N(\hat{D} - N)}{(N^2 - \hat{G})^2} \sum_{j \neq i} n_{ij} N_j \right\},$$

$$u_i^2 = n_{ii} \left[\frac{N}{N^2 - \hat{G}} + \frac{N_i N (\hat{D} - N)}{(N^2 - \hat{G})^2} \right]^2 + N^2 \frac{(\hat{D} - N)^2}{(N^2 - \hat{G})^4} \sum_{j \neq i} n_{ij} N_j^2$$

Estimación de la variación de la superficie

La Receta anterior es

Receta P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto

Esta receta describe de forma simple los enfoques para estimar cambios en el área de bosque a partir de un conjunto de imágenes obtenidas en diferentes momentos y los problemas asociados con cada enfoque. Una sola imagen muestra la cobertura de bosque en un solo momento en el tiempo. Por lo tanto, las imágenes adquiridas en uno o más momentos en el tiempo son necesarios para detectar el cambio en el bosque. Cuando se dispone de un conjunto de imágenes obtenidas en diferentes momentos en el tiempo, dos enfoques pueden ser usados para descubrir los cambios. En el primer enfoque, cada imagen es primero clasificada y luego los resultados de la clasificación son comparados para determinar sus diferencias (el cambio). En el segundo enfoque, el conjunto de imágenes multi-temporales es clasificado en grupo para luego derivar los cambios como un grupo de clases.

Comparación entre la clasificación de imágenes adquiridas en dos tiempos distintos

Para detectar los cambios mediante la comparación de los resultados de comparación obtenidos al clasificar por separado las imágenes obtenidas en dos momentos diferentes, se crea y usa una tabla de tabulación cruzada para identificar coberturas de suelo antes y después del cambio. Esto es clave para entender la cantidad de cambio que ha ocurrido. Sin embargo, los cambios pueden ser identificados falsamente en el límite entre las coberturas de suelo cuando el registro de las imágenes no es suficientemente preciso (Figura T11-1).

Tabla T11-1 Matriz de error para muestras estratificadas

		Cobertura de suelo en el año 2004			
		Zona boscosa	Zona no boscosa	Zona de agua	Total
Cobertura de suelo en el año 1990	Zona boscosa	606.9	90.5	0.0	697.4
	Zona no boscosa	47.9	169.3	0.8	218.0
	Zona de agua	0.0	9.6	12.2	21.8
	Total	654.8	269.3	13.0	937.1

Detección de cambios de cobertura de suelo por clasificación multi-temporal

Hay dos métodos de clasificación multi-temporales que pueden ser usados para clasificar un conjunto de imágenes multi-temporales de una sola vez: en uno, la clasificación se realiza (en la mayoría de los casos) en una imagen diferenciada en el período de tiempo mediante el cálculo de la diferencia entre dos imágenes; y en la otra, las imágenes son combinadas en una sola imagen multi-capa la cual es usada para la clasificación (Figura T11-2).

Si la clasificación multi-temporal de las imágenes en un bloque es llevada a cabo mediante la detección de cambios y los datos de entrenamiento son muestreados a partir de sólo áreas que sufrieron cambio, entonces las coberturas de suelo antes

y después del cambio no pueden ser identificadas. Por otro lado, si el muestreo es llevado a cabo para incluir coberturas de suelo antes y después del cambio, un número más grande de muestras de entrenamiento es necesario. Más aún, debido a que el tiempo de adquisición de las imágenes es diferente, los cambios de iluminación debido a diferencias estacionales (diferencias fenológicas) o características topográficas pueden ser erróneamente considerados como cambios de cobertura de suelo.

Algunos apuntes sobre la detección de cambios

Para usar imágenes adquiridas en diferentes momentos en el tiempo para detectar cambio, el registro geométrico de las imágenes es extremadamente importante. Para un error de detección de cambio menor a 10%, se requiere de una precisión de la posición de menos de 0.2 píxeles ¹⁾. Sin embargo, en GOF-C-GOLD se acepta un error relativo de menos de 1 píxel entre dos imágenes ²⁾.

En el Estudio Mundial de Teledetección de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) para la FAO, una clasificación basada en objetos ³⁾ fue aplicada para cada serie de tiempo de las imágenes, para luego determinar los cambios del área de bosque mediante la comparación de los resultados de la clasificación en años diferentes ⁴⁾. En contraste, en la GOF-C-GOLD fue aplicada una clasificación basada en objetos a toda una serie de tiempo de imágenes en conjunto para determinar los cambios del área de bosque a través del período de tiempo observado ²⁾.



Figura T11-1 Comparación después de la clasificación de dos imágenes en dos momentos en el tiempo

(Verde: bosque, amarillo: no bosque, azul claro: agua, verde claro: cambio de no bosque a bosque, rojo: cambio de bosque a no bosque.)

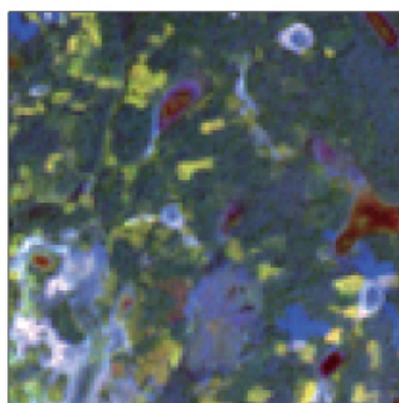


Figura T11-2 Una imagen multi-temporal de dos fechas diferentes

Los cambios aparecen en diferentes colores en una imagen multi-temporal en la cual las bandas de fechas de adquisición diferentes son asignados a un canal de color diferente. En este ejemplo, dos imágenes Landsat TM de fechas diferentes son usadas; rojo para la Banda 3 de la imagen anterior, verde para la Banda 5 de la imagen posterior. En esta imagen, los cambios bosque-no bosque aparecen de color amarillento, mientras que los cambios de no bosque-bosque aparecen rojizos.

INFO

1) Dai X, Khorram S (1998) The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. IEEE Trans Geosci Rem Sens 36: 1566-1577

INFO

2) <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>

INFO

3) Un objeto es un grupo de píxeles espacialmente adyacentes que tienen un espectro homogéneo. El proceso de división de una imagen en objetos es referido como "segmentación de imagen".

INFO

4) <http://www.fao.org/docrep/012/k7023e/k7023e00.pdf>

Bibliografía

Campbell JB (2007) Introduction to Remote Sensing. Guilford Press

8

Capítulo 8 Método de la parcela permanente de muestreo



La técnica de medición más tradicional y directa para la determinación de las reservas de carbono en bosques involucra el uso de parcelas permanentes de muestreo. El método de parcela permanente de muestreo consiste en tres pasos; diseño, estudio de campo y análisis de los datos. En este capítulo se explica en primer lugar cómo hacer el diseño para el método de parcela permanente de muestreo (¿cuántas parcelas deben ser usadas? ¿cómo instalar las parcelas?) y en segundo lugar se describe la manera de determinar el área y la forma de las parcelas así como también se hace una introducción a las tecnologías que serían útiles para el estudio de campo. Por último se explican puntos importantes que deben ser tenidos en cuenta al estimar las reservas de carbono por unidad de área usando datos de inventarios de campo, especialmente la manera de seleccionar la ecuación alométrica que tiene más influencia en los resultados de cálculo.

T12 Sobre la cantidad y organización de las parcelas permanentes de muestreo

T13 Medición de las parcelas permanentes de muestreo

T14 Análisis de los datos de las parcelas permanentes de muestreo

Sobre la cantidad y organización de las parcelas permanentes de muestreo

La Receta anterior es

Receta P10 Método de la parcela permanente de muestreo

Para estimar las reservas de carbono de forma eficiente en áreas extensas (nivel nacional o sub-nacional) se considera el método de muestreo estratificado basado en una apropiada clasificación del bosque. Aquí se explica cómo obtener el nivel requerido de precisión así como el cálculo para obtener el número requerido de parcelas permanentes de muestreo para el muestreo estratificado, y cómo crear una matriz de estratificación apropiada.

INFO

1) Avery TE, Burkhardt HE (eds.) (1994) Forest measurements, Fourth edition. McGraw-Hill

INFO

2) Brown S (2002) Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-based projects. Phil Trans R Soc Lond A 360: 1669-1683

INFO

3) Pearson T, Walker S, Brown S (2005) Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank

Precisión requerida

La precisión requerida de un método de muestreo, esto es, el error permisible E , se calcula de la siguiente forma siempre y cuando la población es lo suficientemente grande ¹⁾:

$$E = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (\text{T12-1})$$

Aquí, t es el valor estadístico t que es necesario para un nivel de significancia de 5% en la distribución t , s es la desviación estándar y n es el número de muestras. Se expresa como la tasa de error (%) que es calculada al dividir E por el promedio. De acuerdo a la ecuación T12-1 mientras mayor sea el número de muestras (n), menor es el error (E), pero dado que para obtener un gran número de muestras es necesario incrementar los costos de la investigación, se debe seleccionar la tasa de error permisible después de considerar la relación de costo-efectividad. Experiencias pasadas sugieren que una tasa de error permisible en un bosque tropical es de 10% o menos ²⁾.

Más aún, la ecuación deja claro que mientras más pequeña sea la desviación estándar (s), el error (E) disminuye su valor. Por lo tanto, el número de muestras (n) puede ser menor y la estimación sería más eficiente en relación a los costos si la desviación estándar (s) es menor. El muestreo estratificado, descrito a continuación, es una manera de reducir el tamaño de la desviación estándar ³⁾.

Cálculo del número requerido de parcelas permanentes de muestreo

Cuando el bosque objetivo es extenso, es probable que incluya diferentes tipos de bosque (por ejemplo coníferas, perennifolios latifoliados o caducifolios). Más aún, diferentes partes del bosque pueden haber sido afectados por diferentes grados de perturbación o pueden haber diferencias en el estado de sucesión entre bosques del mismo tipo. Bajo estas circunstancias, el muestreo estratificado es una estrategia de muestreo muy efectiva. En el muestreo estratificado, el bosque es clasificado en estratos (capas), que son relativamente homogéneos con respecto al tipo y estado del bosque para luego considerar el número de parcelas permanentes de muestreo y su

distribución en cada estrato.

Suponiendo que un bosque es dividido en L estratos, el número total requerido de parcelas permanentes de muestreo n se obtiene como sigue ⁴⁾:

$$n = \left(\frac{t}{E}\right)^2 \left[\sum_{h=1}^L W_h S_h \sqrt{C_h} \right] \left[\sum_{h=1}^L W_h S_h / \sqrt{C_h} \right] \quad (T12-2)$$

Aquí, W_h es la proporción del número de unidades de muestreo en cada estrato N_h con el total de la población de la muestra N ($W_h = N_h/N$), t es el valor del t estadístico que corresponde al nivel de significancia de 5% en la distribución t con ($n - L$) grados de libertad, S_h es la desviación estándar de cada estrato y C_h es el costo de medición de las parcelas de cada estrato. El número de muestras n_h asignado a cada estrato es calculado como sigue ⁵⁾:

$$n_h = n \frac{W_h S_h / \sqrt{C_h}}{\sum_{h=1}^L W_h S_h / \sqrt{C_h}} \quad (T12-3)$$

Si no hay información disponible sobre los costos, entonces $C_h = 1$ y si la población se considera limitada al presentar una proporción de muestreo (n/N) de 5% o más, entonces el número requerido de parcelas permanentes de estudio se determina como el valor de compensación n_a el cual se calcula como sigue, utilizando el valor de n calculado arriba ⁶⁾.

$$n_a = \frac{Nn}{N + n} \quad (T12-4)$$

Estratificación apropiada

El propósito de utilizar un muestreo estratificado es el de elevar la precisión estimada o de disminuir el número de parcelas de muestreo necesarias (n) ³⁾. Por esto, el bosque debe ser estratificado de tal manera que la variación en cada estrato (S_h) sea la menor posible comparada con la variación de toda la población (s). Un medio efectivo de estratificación es la de crear una matriz de estratificación ⁷⁾ que se muestra en la Figura T12-1. Esta matriz es construida con dos ejes: un eje muestra los tipos de bosque y el otro muestra el estado o condición del bosque. Antes de construir la matriz, es importante entender qué factores (por ejemplo: altitud, tipo de suelo, historia de uso del suelo) guardan relación con la variación espacial de las reservas de carbono ⁷⁾. Más aún, una matriz de estratificación es también una forma efectiva de cuantificar los grados de degradación de bosque por tipo de bosque.

		Condición de bosque ➔			
		Bosque maduro	Bosque talado	Bosque secundario (joven)	Bosque secundario (maduro)
Tipo de bosque ⬇	Bosque perennifolio				
	Bosque caducifolio				
	Bosque Mixto				

Figura T12-1 Matriz de estratificación usando tipos de bosque y condición de bosque (modificado a partir de Gibbs et al ⁷⁾)

INFO

4) UNFCCC "Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities" <http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-03-v2.1.0.pdf>

INFO

5) Una hoja de cálculo Excel que puede calcular el número requerido de parcelas permanentes de muestreo mediante el muestreo estratificado está disponible en el siguiente URL: http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock_Sampling_Calculator.xls

INFO

6) Wenger KF (ed.) (1984) Forestry handbook, 2nd edition. John Wiley and Sons

INFO

7) Gibbs KH, Brown S, Niles OJ, Foley AJ (2007) Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. Environ. Res. Lett. 2: 045023

Medición de las parcelas permanentes de muestreo

La Receta anterior es

Receta P10 Método de la parcela permanente de muestreo

Como el nombre lo sugiere, las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son medidas periódicamente en un largo período de tiempo. En esta receta se describen el diseño de la parcela permanente de muestreo (tamaño y forma por ejemplo), los preparativos para un inventario forestal y maneras para mejorar la precisión de las mediciones.

INFO

1) A pesar que la práctica de naciones avanzadas es la tendencia, Tomppo et al. (2010) resume la metodología usada para inventarios forestales nacionales por país.

Tamaño de parcela

Mientras más extensa sea el área de cada parcela permanente de muestreo, mayor será el número de árboles a medir y mayor será el tiempo y costo requerido para las mediciones. Por otro lado, si el área de cada parcela permanente de muestreo es pequeña, la medición requiere relativamente menos tiempo y costo pero el error en el resultado del cálculo de la reserva de carbono se incrementa. Más aún, el área de la parcela debe ser determinada teniendo en cuenta el Inventario Forestal Nacional ¹⁾ del país en donde se trabaja, si alguno ya ha sido llevado a cabo en el pasado, y después de estudiar la estructura y otras características del bosque. Como estándar tentativo se utiliza con frecuencia un área que va de 0.1 a 0.5 ha.

Forma de la parcela

En general, una parcela permanente de muestreo es de forma circular o rectangular (Figura T13-1). Cada forma tiene sus ventajas y desventajas con respecto al establecimiento y uso. Por ejemplo, sabemos que la existencia y localización de una parcela se marcan con estacas. Para una parcela circular, una estaca es requerida sólo para el punto central, pero puede ser difícil juzgar si los individuos cercanos al límite

de la parcela están dentro de la parcela y por lo tanto si es que deben ser objeto de medición. Por otro lado, una parcela rectangular requiere de una estaca en cada una de sus cuatro esquinas, pero es más fácil determinar si un individuo debe ser medido o no dado que los límites de la parcela son líneas rectas. Más aún, considerando que las mediciones serán llevadas a cabo una y otra vez, una parcela rectangular tiene la ventaja de que es más fácil de localizar dado que presenta por lo menos cuatro estacas que establecen su localización.

Las estacas deben ser enterradas en el suelo tan profundo como sea posible para que no sean fácilmente desplazados por el suelo o actividades de animales. Más aún, lo ideal es que las estacas sean hechas a base de un material a prueba de fuego como concreto por ejemplo, en el caso de que

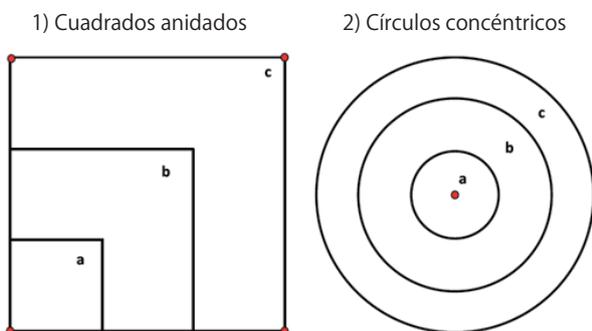


Figura T13-1 Forma de la parcela

El investigador puede medir el tamaño de los árboles de forma efectiva. Por ejemplo: >5 cm en diámetro a altura de pecho dentro de a, >10 cm dentro de b y >20 cm dentro de c

ocurriera un incendio forestal (Figura T13-2)

Es mejor, sin embargo, hablar con la persona de la localidad a cargo del área de bosque por adelantado sobre la selección del material debido a que si se usara un material valioso, éste puede ser objeto de robo. Adicionalmente, cuando la parcela es estudiada, utilizando un medidor de distancia láser y un compás por ejemplo, es importante medir distancias horizontales (no distancias inclinadas) para que las estimaciones de las reservas de carbono por unidad de área sean precisas ²⁾.

Una estaca por cada parcela (en el caso de una parcela circular, la estaca central) se define como el punto de referencia y la información de su posición es determinada y registrada por GPS. Esta información es indispensable para hacer una nueva visita (para realizar re-mediciones) y para localizar las parcelas en imágenes de sensoramiento remoto durante análisis posteriores.

Preparativos para un inventario forestal

El número de parcelas establecidas y su distribución espacial puede también afectar la precisión de la estimación (ver T12 para detalles). Cuando se espera realizar un monitoreo a largo plazo, se puede reducir el error de medición causado por mediciones hechas por personas diferentes mediante el desarrollo de un manual de medición. Más aún, si se hubiese planeado realizar estudios de campo de forma periódica, es mejor utilizar herramientas que se pueden obtener localmente.

El propósito principal de realizar un inventario forestal para la REDD-plus es la de estimar las reservas de carbono. Para este propósito se deben determinar y registrar por lo menos el diámetro a altura de pecho (DAP), la altura del árbol (o de algunos árboles por lo menos) y el nombre correspondiente de las especies medidas ³⁾. Estos datos son requeridos por ecuaciones alométricas para el cálculo de biomasa (ver T14). Las mediciones de DAP y altura del árbol se realizan mejor por equipos de al menos dos personas; una para realizar las mediciones y la otra para registrar el resultado. Adicionalmente, se deben asegurar los servicios de un experto para la identificación de las especies.

Luego, se debe determinar el tamaño mínimo de las plantas (excepto lianas) o árboles a ser medidos: por ejemplo, sólo los árboles con un DAP de 10 cm o más pueden ser medidos. En algunos casos, las especies tales como el bambú y palmas pueden estar incluidas en el inventario forestal. Asimismo, puede ser necesario realizar juicios durante el estudio de campo para determinar si especies marginales con troncos pseudo-leñosos deben ser considerados como objeto de medición.

Elevando la precisión de la medición

Para la determinación precisa de la estructura boscosa en una parcela, se podrían

INFO

2) Adicionalmente, la historia de perturbación puede ser investigada en el campo. Por ejemplo, residentes locales pueden haber cortado leña o llevado a cabo tala selectiva. La información en cambios de uso de suelo, tales como la conversión de bosques en plantaciones de caucho o palma aceitera, es también importante.



Figura T13-2 Ejemplo de estacas resistentes contra disturbios (de concreto)

INFO

3) Puede ser necesario medir otros reservorios de carbono, tales como la madera muerta y material orgánico del suelo, además de la biomasa de las plantas. Ver Ravindranath & Ostwald (2008) para metodologías de medición de estos reservorios.

medir todos los árboles vivos dentro de la parcela pero esto es irreal considerando el tiempo y esfuerzo. Éstos pueden ser ahorrados mediante el uso de estructuras de parcelas anidadas tales como círculos concéntricos. Por ejemplo, la parcela rectangular mostrada en la Figura 13-1 tiene tres marcos (a-c) cuyos tamaños son distintos. Esta estructura puede reducir los requerimientos de esfuerzo si se miden árboles con tamaño mínimo de DAP diferentes en cada marco.

El procedimiento básico de medición es como sigue:

- Registrar la posición de un árbol seleccionado como objeto de medición.
- Asignar un único número de identificación para el árbol y sujetar un etiqueta o chapa con el número designado.
- Medir el DAP del árbol.
- Marcar la posición de la medida.
- Identificar y registrar la especie.
- Medir la altura del árbol (cuando sea requerido).
- Registrar otra información pertinente.

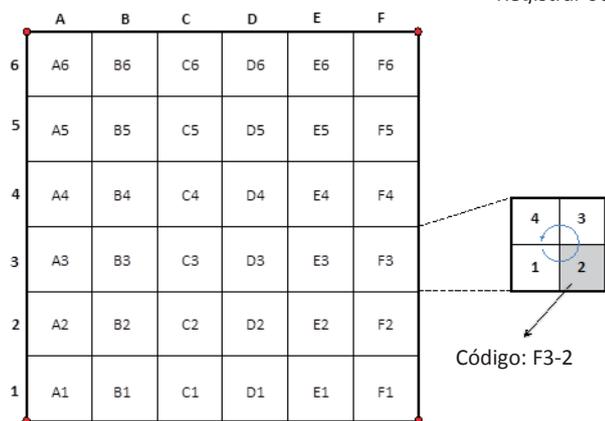


Figura T13-3 Ejemplo de compartimentalización de una parcela. Por ejemplo, el área gris tiene el código "F3-2"

Se debe determinar con precisión la posición de cada árbol medido dentro de la parcela. Es más sencillo registrar la posición de los individuos en una cuadrícula generada al dividir la parcela en sub-cuadrantes e identificando cada sub-cuadrante con un código tal y como se muestra en la Figura T13-3. Más aún, si los árboles son numerados usando un patrón regular (por ejemplo, en dirección de las agujas del reloj tomando como punto de partida la estaca de referencia) sería más fácil darse cuenta en futuras re-mediciones si algún árbol ha desaparecido.

Se debe asignar un número único a todos los individuos designados como objetos de medición, para luego grabar

dicho número en una etiqueta o chapa como las comerciales hechas de aluminio ⁴⁾ y sujetarlo en el árbol. Dado que las etiquetas se pierden a veces (incluyendo las veces en que son removidas intencionalmente por personas) se ahorraría tiempo y esfuerzo si el número es también escrito directamente en el tronco con pintura o si la posición aproximada del árbol en el sub-cuadrante y el código de éste son registrados junto con el número de identificación asignado.

El diámetro del árbol es usualmente medido a 1.3 metros sobre la superficie. Antes de medir el diámetro de un árbol, se debe revisar la posición de la medición. Si hay una protuberancia en el tronco que podría alterar el diámetro verdadero, entonces dicha posición debe ser evitada. De manera similar, si una liana trepadora rodea un árbol, ésta debe ser removida antes de realizar la medición. En tal situación se debe anotar inmediatamente una observación como "medición sin liana" o "Posición de la medición desplazada por protuberancia" para no olvidar ⁵⁾. Adicionalmente, en el

INFO

4) Por ejemplo, "Racetrack-shaped Aluminum Tags" de "Forestry Suppliers"

INFO

5) Para los árboles con dos o más troncos, o troncos inclinados, por favor referirse a Condit (1997) o Ravindranath & Ostwald (2008), quienes muestran ejemplos concretos de cómo medir la DAP.

caso de un árbol en crecimiento en una ladera, el diámetro debe ser medido desde el lado superior y la posición de la medida debe ser marcada con pintura para la próxima medición (Figura T13-4).

Asimismo, se requiere precaución al determinar la posición de la medición si el árbol presenta raíces tabulares. La práctica usual es la de establecer la altura de la posición de medida a 50 cm sobre la parte superior de la raíz tabular (Figura T13-5). A pesar de que esta medida requiere del uso de una escalera, es importante hacer estas medidas de la manera correcta, o se introducirá un error en la estimación de la biomasa.

También se requiere precaución para usar correctamente la herramienta para la medición del DAP. Por ejemplo, con la forcícula, el DAP es medido no solamente una sino dos veces, con la segunda medida hecha formando ángulos rectos en relación a la primera, para luego obtener un valor promedio. Si la cinta métrica es usada, el DAP puede confundirse con la circunferencia a altura de pecho. Es importante asegurarse que el valor registrado es el correcto. Adicionalmente, el mismo tipo de instrumento de medición debe ser usado para todas las mediciones del mismo tipo. Por ejemplo, algunas medidas de DAP no deben ser hechas con una cinta métrica ordinaria y otras con forcípulas, o algunas con una cinta diamétrica y otras con una cinta métrica ordinaria.

En un bosque tropical, es usualmente difícil medir la altura del árbol porque es difícil observar la parte más alta de la corona. Si los objetos a medir son seleccionados por un procedimiento de muestreo que toma en consideración la estructura por tamaño, entonces sólo se necesita la altura de algunos de los individuos y la altura de los árboles no medidos puede ser determinada a partir de una curva que relacione el DAP con la altura del árbol. También es importante verificar la definición de altura de árbol utilizada, porque algunos ingenieros pueden usar la altura comercial.

Para la identificación de especies, es mejor incluir un experto en el tema en el equipo. A pesar de que la lista de las posibles especies puede ser reducida hasta cierto punto durante el estudio de campo, la precisión sería más alta si algunas muestras de especímenes pudieran ser colectados para su identificación posterior por un botanista.

Bibliografía

- Condit R (1997) Tropical Forest Census Plots. Springer-Verlag
 Ravindranath NH, Ostwald M (2008) Carbon Inventory
 Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon
 Mitigation and Roundwood Production Projects. Springer-Verlag
 Tomppo E, Gschwantner M, Lawrence M, McRoberts RE (2010)
 National Forest Inventories. Springer-Verlag



Figura T13-4 Marcas que señalan la altura de la medición (Caso en Indonesia)



Figura T13-5 Medición del diámetro del árbol con raíces tabulares

El investigador debe medir el diámetro a la altura mínima sin raíz tabular (línea sólida) en vez del diámetro a altura de pecho (1.3 metros, línea discontinua)

Análisis de los datos de las parcelas permanentes de muestreo

La Receta anterior es

Receta P10 Método de la parcela permanente de muestreo

Las reservas de carbono en un bosque son generalmente considerados como la mitad de la biomasa del bosque. Por lo tanto, para determinar las reservas de carbono del bosque se debe estimar primero su biomasa utilizando generalmente ecuaciones alométricas. En esta receta se describe la estimación de la biomasa usando datos de inventario forestal obtenidos a partir de una parcela permanente de muestreo tal y como se explica en T12 y T13.

INFO

1) Adicionalmente, si es necesario, una ecuación alométrica puede ser seleccionada en base a la clasificación de bosque (por ejemplo, los bosques bajos, bosques montanos, matorrales, bosques secundarios), el ambiente de crecimiento o el estado de sucesión.

INFO

2) Cairns et al. (1997) y Mokany et al. (2006) han propuesto ecuaciones genéricas para la biomasa subterránea. Estas ecuaciones usan biomasa aérea (t/ha) como una variable independiente, y el resultado estimado es también biomasa por hectárea (t/ha). Adicionalmente, la ecuación de Hozumi está disponible para bosques perennifolios tropicales y bosques tropicales estacionales (Hozumi et al. 1969) y la ecuación de Niiyama puede ser usada para bosques dipterocarpos en tierras bajas tropicales (Niiyama et al. 2010) para la estimación de biomasa subterránea por árbol.

Acerca de las ecuaciones alométricas

Cierto tipo de árboles crecen de una forma predecible y sus diferentes partes son proporcionales. Como resultado, el tamaño de una parte que es difícil de medir puede ser estimada a partir del tamaño de otra parte que es más fácilmente medible. Las ecuaciones de escala que pueden relacionar los tamaños de diferentes partes de un árbol son llamadas ecuaciones alométricas.

Dado que una ecuación alométrica refleja las características de crecimiento de una planta, los resultados estimados varían enormemente con el tipo de bosque o el ambiente en el cual crecen (Figura T14-1). Por lo tanto, es importante escoger una ecuación alométrica que sea adecuada a las condiciones en la región y el tipo de bosque (por ejemplo, perennifolio latifoliado)¹⁾. Muchas ecuaciones para la estimación de biomasa aérea (AGB) han sido propuestas, y los datos para la estimación de biomasa subterránea (BGB) están siendo recolectados²⁾.

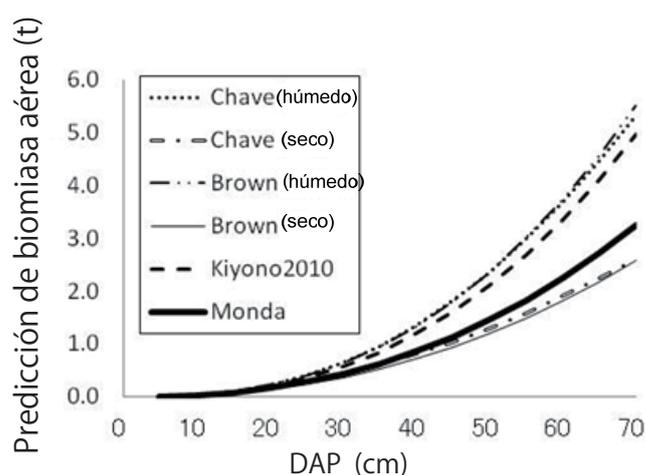


Figura T14-1 Comparación de estimación de biomasa aérea (AGB) utilizando ecuaciones alométricas diferentes con el diámetro a altura de pecho (DAP).

Para calcular la AGB fue utilizada una densidad de la madera de 0.57 t/m^3 , el cual es el valor por defecto de la FAO para una especie arbórea tropical en Asia. Los diferentes modelos de estimación son descritos y comparados en la Figura T14-2.

Selección de una ecuación alométrica apropiada para la región objetivo

Una ecuación que relaciona una característica (ver T13) que puede ser medida fácilmente y repetidamente en el campo, por ejemplo la AGB, es seleccionada a partir del conjunto de ecuaciones desarrolladas para ser usadas en un bosque con un medio ambiente similar o del mismo tipo de bosque ³⁾ (Figura T14-2). A la fecha, varias ecuaciones sean genéricas o modelos desarrollados para localidades específicas han sido desarrollados para cada tipo de bosque usando datos de árboles alrededor del mundo ⁴⁾. Muchos modelos locales son desarrollados específicamente para un tipo de especie o un bloque de bosque local en un paisaje específico. Cada una tiene sus ventajas y desventajas (Tabla 14-1).

Una ecuación alométrica debe ser seleccionada de un grupo de ecuaciones adecuadas para el tipo de bosque y región. Si dos o más ecuaciones alométricas aplicables están disponibles, entonces la información sobre las dimensiones del árbol (por ejemplo: diámetro a altura de pecho y altura del árbol) y las especies dominantes del bosque objetivo debe ser empleados con cada ecuación y los resultados deben ser comparados con datos de biomasa disponibles para el bosque objetivo (por ejemplo aquellos datos reportados de la literatura), para evaluar el error de estimación de cada uno. Si hay una correlación entre el error de estimación y la DAP, quiere decir que la relación alométrica asumida en la ecuación difiere de la del bosque objetivo. En el caso de error de sobre-estimación o sub-estimación, el error será mayor cuanto más grande sea el diámetro del árbol. Si no hay ninguna ecuación lo suficientemente apropiada, se debe medir la biomasa del área objetivo para crear una ecuación alométrica adecuada. Por otro lado, si la variación del error es grande, pero no existe una correlación entre el error estimado y la DAP, es probable que diferentes tipos de bosque se encuentren combinados. En este caso, se debe re-examinar la clasificación en tipos de bosque basado en especies o condiciones del área, y subdivisiones o estratificaciones adicionales pueden ser necesarios. Más aún, si la estimación del error es grande para sólo cierto tipo de especie, entonces tal especie puede tener probablemente una historia de vida diferente (por ejemplo, puede ser un árbol del dosel bajo) o la relación alométrica puede diferir de la usual porque tal especie tiene una proporción de DAP:altura única (por ejemplo: el baobab). Cuando tal especie es abundante en un bosque, su influencia en la biomasa del bosque también será grande. Por lo tanto, se debe usar una ecuación alométrica diferente para árboles de tal especie. Sin embargo, si eso no es considerado efectivo en relación a los costos, el error puede ser inevitable.

Ejemplos de la estimación de biomasa por unidad de área a partir de datos de parcelas permanentes de muestreo y el cálculo de la biomasa de bosque

INFO

3) Muchas ecuaciones de estimación incluyen la densidad de la madera (WD) (t/m^3) como una variable independiente. La WD es el peso por unidad de volumen del tronco. La biomasa se estima multiplicando la WD con el volumen calculado a partir del DAP, obtenido de un inventario forestal. Se debe tener presente que la WD puede ser reportada con unidades de kg/m^3 en lugar de t/m^3 . Valores de la WD por especie o a nivel de género han sido reportados por la IPCC (2003, 2006) y en varios artículos. En bosques tropicales, la identificación de las especies es usualmente difícil. Si la especie no puede ser identificada, los valores por defecto (Asia 0.57, América 0.60, África 0.58 en bosques tropicales) (por ejemplo, Brown 1997) pueden ser usados. Más aún, algunos artículos reportan la WD de otras partes además del tronco.

INFO

4) Las ecuaciones genéricas típicas han sido propuestas por Brown (1997) y Chave et al. (2005). El área basal ($ba: cm^2$) es usada en la ecuación de Brown; y la densidad de la madera y DAP, o densidad de la madera, DAP, y altura del árbol son usados en la ecuación de Chave como variables independientes. Ambas ecuaciones son usadas para estimar la biomasa aérea a nivel individual.

Tabla T14-1 Comparación de las características entre el modelo genérico (ecuación genérica) y el modelo local.

Contenido	Modelo genérico	Fórmula para especies y paisajes determinados
Set de datos	Datos recopilados de un rango de especies de árboles tropicales.	Datos recopilados a partir de paisajes y especies de árboles específicos.
Área aplicable	Aplicable a bosques del mismo tipo que los datos. Su aplicación en muchas áreas es posible.	Se puede aplicar solo en bosques y especies iguales que los datos de la fórmula. La zona de aplicación está limitada.
Error de estimación	En bosques donde el método es aplicable surgen errores pequeños y medianos.	Si se trata de bosques aplicables al método el error es muy pequeño. De lo contrario, el error es grande.
Opciones para minimizar un error grande de estimación.	La precisión puede ser mejorada usando dos variables independientes (por ejemplo, DAP y altura del árbol).	No se utiliza en el caso que no sea adecuado para la zona de estudio.

INFO

5) Samreth V, Chheng K, Monda Y, Kiyono Y, Toriyama J, Saito S, Saito H, Ito E (2012) Tree biomass carbon stock estimation using permanent sampling plot data in different types of seasonal forest in Cambodia. JARQ 46(2): 187-192

INFO

6) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. Biotropica. 42(4): 410-419

INFO

7) Un factor de expansión de biomasa es un factor que convierte el volumen del tronco en el volumen de todo el árbol, incluyendo las ramas, hojas y raíces. Este factor depende de la especie del árbol y la edad de la masa forestal.

y reservas de carbono a nivel nacional están disponibles para Camboya ⁵⁾ y Papúa Nueva Guinea ⁶⁾. La biomasa obtenida al usar una ecuación alométrica es expresada como peso seco. Ese valor es convertido a reserva de carbono al multiplicarlo por 0.5.

Dado que las especies, edad de bosque, y prácticas de manejo de bosques son constantes en el caso de una plantación, puede ser asumido que la dimensión del árbol y sus condiciones de crecimiento son también constantes. En este caso, el factor de expansión de biomasa (BEF) ⁷⁾ puede ser usada como sigue:

$$C = [V \times WD \times BEF] \times (1 + R) \times CF$$

Aquí, C es la reserva de carbono por unidad de área (t-C/ha), V es el volumen de la masa forestal (m³/ha), WD es la densidad de la madera (t/m³), BEF es el factor de expansión de biomasa y CF es la proporción de contenido de carbono (t-C/m³).

Bibliografía

Cairns MA, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111: 1-11

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.htm>

IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

Mokany K, Raison R, Prokushkin A (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. J Trop Ecol 26: 71-284

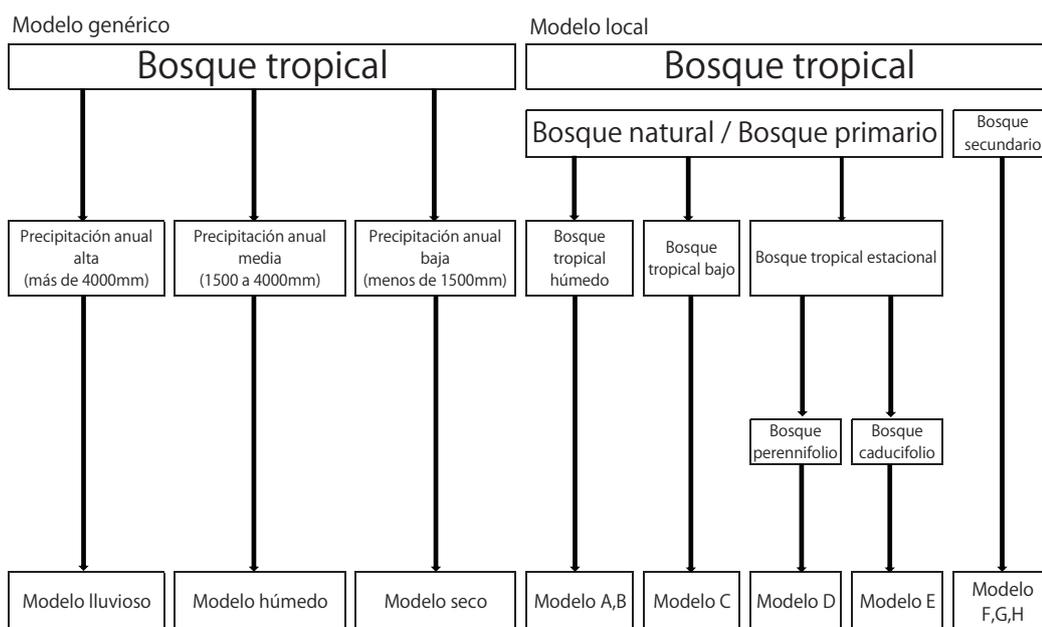


Figura T14-2 Fuente del flujo de medición de la fórmula alométrica

Modelo genérico	Ecuación alométrica	Tipo de bosque y condiciones climáticas recomendadas
Brown	B. Wet model	$AGB=21.297 - 6.953 \times AP + 0.740 \times DAP^2$
	B. Moist model	$AGB=\exp(-2.134 + 2.530 \times \ln(DAP))$
	B. Dry model	$AGB=\exp(-1.996 + 2.32 \times \ln(DAP))$
Chave*	B. Wet model	$AGB=WD \times \exp(-1.302 + 1.980 \times \ln(DAP) + 0.207 \times (\ln(DAP))^2 - 0.0281 \times (\ln(DAP))^3)$
	B. Moist model	$AGB=WD \times \exp(-1.562 + 2.148 \times \ln(DAP) + 0.207 \times (\ln(DAP))^2 - 0.0281 \times (\ln(DAP))^3)$
	B. Dry model	$AGB=WD \times \exp(-0.730 + 1.784 \times \ln(DAP) + 0.207 \times (\ln(DAP))^2 - 0.0281 \times (\ln(DAP))^3)$
Kiyono	B. Moist model	Stem= $2.69 \times ba^{1.29} \times WD^{1.35}$
	B. Moist model	Branch= $0.217 \times ba^{1.26} \times WD^{1.48}$
	B. Moist model	Leaf= $173 \times ba^{0.938}$

Modelo local	Ecuación alométrica	Tipo de bosque recomendado	
Yamakura	A	$AGB=\exp(-2.30+3.62 \times \ln(DAP))$	Tropical lluvioso (Borneo)
Chambers	B	$AGB=\exp(-2.010+2.55 \times \ln(DAP))$	(Amazonia central)
Dojomo	C	$AGB=\exp(-2.05+2.33 \times \ln(DAP))$	Bosque bajo tropical (África)
Hozumi	D	Stem= $0.072 \times (D^2 H)^{0.9326}$ Branch= $0.01334 \times (D^2 H)^{1.027}$ Leaf= $0.031 \times (D^2 H)^{0.7211}$	Bosque perennifolio estacional tropical (Camboya)
Monda	E	$AGB=0.3510 \times DAP^{2.3855} \times WD^{1.7827}$	Bosque caducifolio estacional tropical (zona de Indochina)
Kenzo	F	$AGB=0.0829 \times DAP^{2.43}$	Bosque secundario (Malasia,Sarawak)
Ketterings	G	$AGB=\exp(-2.75+2.59 \times \ln(DAP))$	Bosque secundario combinado (Indonesia, Sumatra)
Hashimoto	H	$AGB=\exp(-2.51+2.44 \times \ln(DAP))$	Bosque secundario donde predominan especies pioneras (Indonesia, Karimantan este)

*Chave ha propuesto además ecuaciones alométricas que incluyen DAP, H, WD como variables independientes.

Unidades: Biomasa (AGB, tronco, rama, hojas): Kg/árbol, WD : t/m³ (El modelo de Kiyono usa kg/cm³), DAP : cm, ba : m², D²H : DAP²(cm)×H(m)

Las fuentes del flujo para estimar la ecuación alométrica

- Brown S (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests, a primer. FAO Forestry paper No.134. FAO, Rome
- Chambers JQ, Santos J, Ribeiro RJ, Higuchi N (2001) Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 152: 73-84
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Réra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*.145:87-99
- Dojomo AN, Knohla A, Gravenhorstb G (2010) Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*. 261:1448-1459
- Hashimoto T, Tange T, M asumori M, Y agi H, Sasaki S, K ojima K (2004) Allometric equations for pioneer tree species and estimation of the aboveground biomass of a tropical secondary forest in East Kalimantan. *TROPICS*. 14(1) 123-130
- Hozumi K, Yoda K, Kokawa S, Kira T (1969) Producing ecology of tropical rain forests is southwestern Cambodia I. Plant biomass. *NATURE AND LIFE IN SOUTHEAST ASIA*.VI. 1-51
- Kenzo T, Ichie T, Hattori D, Itioka T, Handa C, Ohkubo T, Kendawang JJ, Nakamura M, Sakaguchi M, Takahashi N, Okamoto M, Tanaka-Oda A, Sakurai K, Ninomiya I (2009) Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*.25:371-386
- Ketterings QM, Coe R, Noordwijk M, Ambagau Y, Palm CA (2001) Reducing uncertainty in the use of allmetric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*. 146:199-209
- Kiyono Y, Furuya N, Sum T, Umemiya C, Ito E, Araki M, Matsumoto M (2010) Carbon stock estimation by forest measurement contributing to sustainable forest management in Cambodia. *JARQ*.44(1):81-92
- Yamakura T, Hagihara A, Sukardjo S, Ogawa H (1987) Tree form in a mixed Dipterocarp forest in Indonesian Borneo. *Ecological Research*.2:215-227

Figure T14-2 Flujo de selección de fórmula alométrica, (continuación)

9

Capítulo 9 Modelos de estimación de la reserva de carbono de la masa boscosa



Además del método de estimación de la reserva de carbono de bosques basado en parcelas permanentes de muestreo (PPMs), discutido en el capítulo anterior, las reservas de carbono pueden ser estimadas usando un modelo que relacione cierto(s) parámetro(s) a la biomasa. En este capítulo se explica primero el diseño del modelo y su evaluación, incluyendo el cálculo de los costos. Luego se describen cuatro modelos de estimación basado en altura del estrato superior, diámetro de copa, edad de la comunidad y coeficiente de retrodispersión a partir de SAR. Dado que estos modelos difieren en términos de su aplicabilidad y precisión, se explicarán sus características individuales y su aplicabilidad a diferentes tipos de bosques.

- T15 Diseño de un modelo
- T16 Método de la altura del estrato superior
- T17 Método del diámetro de copa
- T18 Método de la edad de la comunidad
- T19 Método del coeficiente de retrodispersión

Diseño de un modelo

La Receta anterior es

Receta P11 Usando un modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa

La reserva de carbono del bosque por unidad de área puede ser estimada indirectamente usando un modelo estadístico que relacione parámetros fácilmente medibles con la reserva de carbono. El diseño óptimo combina mediciones de parámetros tomadas a partir de una muestra poblacional amplia, con mediciones directas de reservas de carbono tomadas a partir de una parte de la misma muestra poblacional. La cantidad de mediciones indirectas y/o directas a realizarse puede determinarse de forma tal que los costos se minimicen y que la eficiencia del método pueda ser comparable con la del método de parcelas permanentes de muestreo. El diseño de muestreo para este método, llamado "muestreo doble", es presentado aquí como un marco para la estimación indirecta de las reservas de carbono del bosque usando parámetros específicos. Estos métodos son descritos en las recetas que van desde T16 hasta T19.

Muestreo doble

En el método de la parcela permanente de muestreo, la media y la varianza de la reserva de carbono por unidad de área son estimadas con mediciones directas en campo en parcelas de muestreo que son establecidas de forma permanente en el bosque (ver P10 y Capítulo 8). Sin embargo estas medidas de campo son usualmente costosas y consumen mucho tiempo, especialmente en bosques de gran extensión con accesibilidad limitada, o su establecimiento puede no ser posible debido a la falta de infraestructura o por razones de seguridad. Por este motivo, algunos países no han establecido una red de parcelas permanentes, ni tampoco poseen la capacidad de establecer tal red en el futuro cercano.

Los métodos de "muestreo doble" son menos costosos, pero menos precisos, y hacen uso de modelos que relacionan las reservas de carbono de los bosques con parámetros fácilmente medibles, incluyendo algunos que pueden ser medidos a través del sensoramiento remoto sin la necesidad de realizar ningún estudio de campo.

Los métodos de muestreo doble involucran dos etapas de medición. En la primera etapa se mide un parámetro auxiliar, que puede ser medido fácilmente y a bajo costo; este parámetro se mide en una muestra grande de la población. Los parámetros usados más frecuentemente son la altura del estrato superior (ver T16), diámetro de copa (ver T17), edad de la comunidad (ver T18) y retrodispersión de radar (ver T19). En la segunda etapa, mediciones más precisas y más costosas son llevadas a cabo en una sub-muestra de la muestra tomada en la primera etapa. En este capítulo se asume que las mediciones de la segunda etapa son los inventarios forestales.

Los métodos de muestreo doble no siempre son más apropiados que el método de parcelas permanentes de muestreo en términos de precisión y costo, aún si se utilizan métodos directos tales como los descritos desde el T16 hasta el T19. Métodos que son considerados para el bosque objetivo deben ser evaluados y comparados,

particularmente en relación con su precisión y costo, antes de su selección para la implementación. Si los estimados de precisión y costo no están disponibles, éstos deben ser derivados a partir del examen de estudios pasados en áreas similares o mediante la conducción de experimentos preliminares a pequeña escala.

Estimación indirecta de las reservas de carbono mediante modelos de correlación

En la primera etapa, una muestra grande de la población de tamaño n_1 es seleccionada, y un parámetro auxiliar x (por ejemplo, la altura del estrato superior) es medido en dicha muestra. En la segunda etapa, una sub-muestra de tamaño $n_2 (< n_1)$ es seleccionada de la muestra tomada en la primera etapa, y la reserva de carbono (y) es medida en un inventario forestal. La sub-muestra de la segunda etapa con estimadores de regresión de la media de la población para una sola variable de interés y un parámetro auxiliar es:

$$\bar{y}_{tr} = \bar{y}_2 + b(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad (T15-1)$$

donde \bar{x}_1 y \bar{x}_2 son los estimados de la muestra de la media de x en las muestras de la primera etapa y la segunda etapa respectivamente; \bar{y}_2 es el estimado de la media de la población de y a partir de la muestra de la segunda etapa, b es el coeficiente de regresión de y a partir de x , $b = \widehat{cov}(x, y) / \widehat{var}(x)$, $\widehat{cov}(x, y)$ es la covarianza de x e y , y $\widehat{var}(x)$ es la varianza de x . Un mejor estimado de $\widehat{var}(x)$ puede ser derivada a partir de la muestra de la primera etapa.

Por lo tanto, la varianza de \bar{y}_{tr} , $\widehat{var}(\bar{y}_{tr})$ es aproximadamente:

$$\widehat{var}(\bar{y}_{tr}) \cong \frac{\widehat{var}(y)(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)}{n_2} + \frac{\widehat{var}(y)\hat{\rho}_{xy}^2}{n_1} \quad (T15-2)$$

en donde $\widehat{var}(y)$ es la varianza de y , $\hat{\rho}_{xy}^2$ es el coeficiente de determinación entre x e y , y $\hat{\rho}_{xy}^2 = \widehat{cov}(x, y)^2 / (\widehat{var}(x)\widehat{var}(y))$

Evaluación de la precisión del modelo y costos

En tanto sea mayor sea la varianza de la medición, menor será la precisión de la estimación de la reserva de carbono; y en tanto sea más grande sea el tamaño de la muestra, más alta será la precisión, pero también más alto el costo de estimación. De allí, se puede estimar la mejor combinación de la primera y segunda etapa para obtener la mayor precisión dentro de un limitado costo mediante la minimización de la varianza general del estimado (Ecuación T15-2). Por otra parte, estimando el costo necesario para llegar a la misma precisión entre el método de parcela permanente de

estudio y método de estimación por modelo, o entre modelos diferentes, se podría determinar si es adecuada la adopción del modelo desde el punto de vista del costo. En el caso que el costo por muestra sea c_1 para la muestra de la primera etapa (midiendo x), siendo $c_2 (c_2 > c_1)$ el costo para la muestra de la segunda etapa (midiendo y), el costo total c se estima de la siguiente manera:

$$c = n_1 c_1 + n_2 c_2 \tag{T15-3}$$

En el caso del muestreo doble, si c_1 y c_2 son datos, y si c es constante. n'_1, n'_2 , que minimizan la Ecuación 15-2 y la varianza total $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})$ puede calcularse como sigue:

$$n'_1 = \frac{c}{c_1 + c_2 \sqrt{\frac{c_1(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)}{c_2 \hat{\rho}_{xy}^2}}}, \quad n'_2 = \frac{c}{c_1 \sqrt{\frac{c_2 \hat{\rho}_{xy}^2}{c_1(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)}} + c_2} \tag{T15-4}$$

$$\widehat{var}'(\bar{y}_{tr}) = \widehat{var}(y) \frac{\left(\sqrt{c_2(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)} + \sqrt{c_1 \hat{\rho}_{xy}^2} \right)^2}{c} \tag{T15-5}$$

Por otro lado, en el método de la parcela permanente de muestreo, $n_2 = c / c_2$ porque $n_1 = 0$ y la varianza total $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{PSP}$ puede ser calculada como sigue:

$$\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{PSP} = \widehat{var}(y) \frac{c_2}{c} \tag{T15-6}$$

Comparando las ecuaciones T15-5 y T15-6, el muestreo doble es más preciso que la parcela permanente de muestreo cuando $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr}) < \widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{PSP}$. Por lo tanto, cuando $\hat{\rho}_{xy}^2$ es dato y si:

$$\frac{c_2}{c_1} > \frac{(1 + \sqrt{1 - \hat{\rho}_{xy}^2})^2}{\hat{\rho}_{xy}^2} \tag{T15-7}$$

entonces el muestreo doble con modelo de correlación debe ser empleado. O cuando c_1 y c_2 son dato y si:

$$\hat{\rho}_{xy}^2 > \frac{4c_1 c_2}{(c_1 + c_2)^2} \tag{T15-8}$$

entonces el muestreo doble no debe ser usado.

Notas sobre la aplicación de modelos en un bosque

En áreas extensas de bosque o en bosques con una gran variabilidad espacial, valores de $\hat{\rho}_{xy}^2$ alrededor de 0.4 no son raros. Por otro lado, un valor de $\hat{\rho}_{xy}^2$ mayor a 0.9

es irreal o incluso cuestionable ¹⁾.

Los resultados a partir de modelos usando datos de sensoramiento remoto son algunas veces inestables y pobremente reproducibles debido a la complejidad de los datos de sensoramiento remoto la cual varía no solo por el tipo de objeto que se observa sino también por muchos otros factores y condiciones entre el sensor y el objeto.

Debido a que los bosques son complejos y a que los parámetros auxiliares son medidos de forma indirecta, por ejemplo mediante el sensoramiento remoto, el modelo usado debe ser tan simple como sea posible, y la precisión y costo del modelo debe ser evaluado y comparado con la precisión y costo del método de parcela permanente de muestreo.

INFO

1) Köhl M, Magnussen SS, Marchetti M (2006) Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. Springer-Verlag

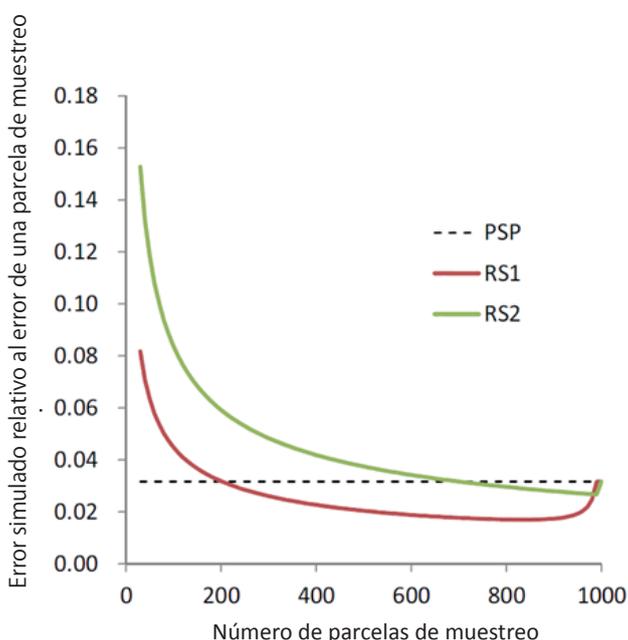


Figura T15-1 Comparación del error de muestreos dobles

Errores de dos escenarios de muestreos dobles por sensoramiento remoto (escenarios RS1 y RS2) son graficados contra el error estimado de las mediciones en parcela permanente de muestreo (PPM). El eje horizontal representa el número de parcelas de muestreo estudiadas para los muestreos dobles, mientras que el eje vertical representa la proporción entre el error total del estudio y el error de medición en una PPM.

Como datos simulados, el costo total del estudio c es JPY10 000 000 y que el costo de medición en campo por parcela de muestreo, c_2 , es JPY10,000. También supongamos que para RS1 el costo de las mediciones por área de una parcela de muestreo, c_1 , es de JPY100 y $\hat{\rho}_{xy}^2$ es 0.8; y para el caso de RS2, c_1 es JPY1 y $\hat{\rho}_{xy}^2$ es 0.3. En este caso, el número máximo de parcelas que pueden tomarse es de 1000, y la línea discontinua representa la proporción de error en ese caso.

Método de la altura del estrato superior

La Receta anterior es

Receta P11 Usando un modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa

Las reservas de carbono por unidad de área pueden ser estimadas con la altura del estrato superior de la masa forestal a partir de la correlación entre la altura de en dicho estrato y la biomasa. El método es aplicable a una amplia gama de clases de biomasa: desde biomasa de bosque degradado con baja reserva de carbono, hasta bosques maduros con una reserva alta. Esta receta presenta una apreciación general de los principios subyacentes a los métodos y los retos que presentan, así como también las técnicas de sensoramiento remoto que pueden ser usadas para la estimación de la altura del estrato superior.

INFO

1) Existen muchas definiciones de la altura del estrato superior en la literatura (por ejemplo, la altura promedio de todos los árboles de pié, la altura promedio de los árboles del dosel o la altura ponderada). La definición de la altura del estrato superior que se usa debe ser claramente establecida cuando se desarrolla el modelo que use tal variable para la estimación.

INFO

2) Mascaro J, Asner GP, Muller-Landau HC, BreugelMv, Hall J, Dahlin K (2011) Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama. Biogeosciences 8: 1615-1629

INFO

3) Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ETA, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL, Hagen S, Petrova S, White L, Silman M, Morel A (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. PNAS 108: 9899-9904

Correlación entre la altura del estrato superior y la biomasa

El método de la altura del estrato superior para la estimación de las reservas de carbono por unidad de área de una masa forestal se basa en la existencia de una relación de ley de potencias entre la altura del estrato superior ¹⁾ y la biomasa (Figura 16-1). Asimismo, se ha reportado en muchos estudios una función de ley de potencias relaciona ambos parámetros ^{2), 3)}.

Por ejemplo, las reservas de carbono en la Isla de Barro Colorado, en Panamá ²⁾ fueron estimados en base a la relación entre las mediciones de campo de biomasa y la altura del estrato superior medida mediante LiDAR aéreo. En este estudio, la altura del estrato superior fue definida como la altura promedio en cada cuadrícula cuyo ancho varía de 30 a 100 metros. Otro estudio ³⁾ estima las reservas de carbono en bosques tropicales en tres continentes a una resolución de 1 kilómetro usando LiDAR aéreo para estimar la altura de Lorey (es decir, la altura ponderada según el área basal de todos los árboles) y la correlación entre la altura de Lorey y la biomasa aérea.

De esta forma, si es posible usar técnicas de sensoramiento remoto para estimar la altura del estrato superior, entonces la opción de estimar las reservas de carbono en un área amplia mediante el método de la altura del estrato superior se convierte en una alternativa viable.

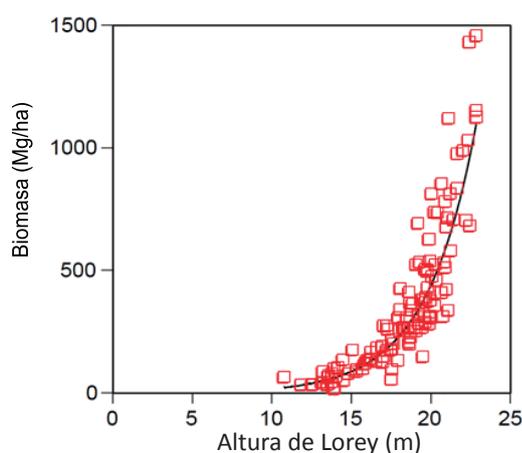


Figura T16-1 Relación entre la altura ponderada según el área basal (altura de Lorey) y la biomasa

Medición de la altura del estrato superior mediante sensoramiento remoto

El LiDAR aéreo o satelital y las imágenes estereoscópicas son técnicas de sensoramiento remoto que pueden ser usadas para estimar la altura del estrato superior.

Específicamente, la altura del estrato superior es estimada tomando la diferencia entre un modelo superficial digital (DSM, es decir, un mapa de elevación superficial del dosel del bosque) y un modelo digital de elevación (DEM) de la superficie del suelo derivado a partir de datos LiDAR aéreo. Este método puede ser usado para masas boscosas con niveles altos o bajos de reservas de carbono. Sin embargo, los costos de medición son relativamente altos, y es difícil extrapolar a partir de los resultados de un área a las demás áreas.

ICESat/GLAS (Satélite para Hielo, Nubes y Elevación de Suelo/Sistema de Altímetro Láser de Geociencia) fue un sistema LiDAR satelital que estuvo en operación durante los años 2003 – 2010, y sus datos se encuentran disponibles de forma gratuita. Su sucesor, el ICESat-2, tiene programada su puesta en órbita para el 2016. Los pulsos LiDAR de ICESat hacían contacto con el suelo cada 170 metros con un diámetro de huella de 70 metros. Imágenes satelitales amplias pueden entonces ser combinadas con datos GLAS para una interpolación entre la información dispersa de altura a nivel del suelo ⁴⁾.

Pares estéreo de fotografías aéreas o imágenes satelitales de alta resolución ⁵⁾ han sido utilizadas para obtener información estereoscópica sobre la superficie del suelo. Si un modelo digital de terreno (DTM) está disponible para el área de estudio, los pares estéreo pueden también ser usados para derivar la altura del estrato superior.

Factores que afectan la precisión de la estimación de la altura del estrato superior

Estudios previos han sugerido que, en general, la relación "altura del estrato superior" - "biomasa" no tiene una diferencia significativa cuando es usada en diferentes tipos de bosque o etapas de sucesión ^{1),6)}. Sin embargo, la relación para las masas de bambú es significativamente diferente a las relaciones para otros tipos de bosques.

La precisión de la estimación de reservas de carbono para este método depende del número de parcelas usadas para derivar la relación de ley de potencias entre la altura del estrato superior y las reservas de carbono (ver T15). La resolución de los datos de sensoramiento remoto también afecta la precisión del método.

La relación "altura del estrato superior" - "biomasa" que se deriva depende de la ecuación alométrica que es usada para estimar la biomasa. Así, si la ecuación alométrica es reemplazada con una nueva, más confiable, la relación "altura del estrato superior" - "biomasa" debe ser recalculada.

INFO

4) En INFO 3) se estimó la altura del estrato superior usando un modelo de entropía máxima utilizando una combinación de datos MODIS, SRTM y QSCAT además de datos GLAS.

INFO

5) El Sensor Remoto Pancromático para estéreo-planimetría (PRISM) es un sensor óptico en ALOS (Satélite de Observación Terrestre Avanzado) que puede observar la superficie del suelo en tres direcciones de forma simultánea (adelante, nadir y atrás) a lo largo de la órbita del satélite. ALOS terminó su operación en Abril del 2011. Otros tipos de imágenes de satélite de alta resolución como por ejemplo el Worldview y el IKONOS, puede proveer pares estéreo de un área de interés.

INFO

6) En INFO 3), se encontraron diferencias significativas entre los continentes (SE Asia, S América y África), pero las diferencias no fueron significativas entre tipos de bosque dentro de un continente.

Método de diámetro de copa

La Receta anterior es

Receta P11 Usando un modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa

En el método del diámetro de copa, las reservas de carbono por unidad de área son estimadas mediante la medición de diámetros de copas de árboles en fotografías aéreas o en imágenes satelitales de alta resolución, para luego usar dichos valores para estimar la biomasa de los árboles, dado que la biomasa de cada individuo se incrementa al incrementarse el tamaño de la copa (diámetro y área). Para estimar las reservas de carbono por unidad de área, la biomasa estimada de cada árbol, determinada mediante la medición del diámetro de copa de cada individuo, puede ser sumada, pero es imposible observar directamente las copas de los árboles en los estratos medio e inferior de una masa boscosa de múltiples estratos. Por lo tanto, se necesita un método de estimación de reservas de carbono por unidad de área de todos los árboles incluyendo los estratos medio e inferior, a partir del tamaño de copa de los árboles del estrato superior que pueden medirse. Uno de los requerimientos de este método es que las copas individuales de los árboles deben ser visibles. Por consiguiente, el método es más apropiado para un bosque que consiste en árboles con copas amplias tal como un bosque abierto, mientras que no sería apropiado para un bosque joven o un bosque de bambú.

INFO

1) En esta receta, el diámetro de copa es usado como equivalente de tamaño de copa (por ejemplo, ambos diámetro y área).

INFO

2) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P, Tith B, Ito E, Siregar CA, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. *JARQ* 45(2): 233–242

INFO

3) Adicionalmente, la medición de los diámetros de copa es afectada por la disponibilidad de información de color, la fecha de adquisición de los datos y si está disponible un par de imágenes estéreo que haga fácil la discriminación entre el estrato arbustivo y copas adyacentes usando información de altura.

INFO

4) Broadbent EN, Asner GP, Marielos Peña-Claros, Palace M, Soriano M (2008) Spatial partitioning of biomass and biodiversity in a lowland Bolivian forest: Linking field and remote sensing measurement. *For Ecol Manage* 255: 2602-2616

Midiendo diámetros de copa de árboles para la estimación de reservas de carbono ¹⁾

A pesar que la biomasa de un árbol se incrementa de forma predecible con el tamaño de la copa del mismo (diámetro y área) ²⁾ (Figura T17-1), el diámetro medible de la copa depende de la resolución a nivel del terreno de las imágenes de sensoramiento remoto que son usadas. El diámetro de la copa de un árbol que pertenece al estrato superior puede ser medido con fotografías aéreas o con imágenes satelitales con una alta resolución ³⁾ (Figura T17-2); luego dicha información es convertida en un valor índice que es usado para la estimación de las reservas de carbono del bosque en cuestión.

Es posible medir la copa de un árbol localizada en el estrato superior. Los diámetros de las copas de árboles en los estratos medio e inferior no puede ser directamente medible debido a que la visibilidad es parcialmente o totalmente obstruida por el estrato superior, ni tampoco se pueden medir las copas pequeñas de árboles en un bosque secundario joven. Para tratar con esta situación se han propuesto ecuaciones para la estimación directa de la reserva de carbono de todos los árboles, incluyendo la que pertenece a los árboles del estrato medio e inferior que no pueden ser observados, a partir de datos de medición de diámetros de las copas del estrato superior ^{4),5)}.

Adicionalmente, la reducción de las reservas de carbono causadas por la tala selectiva de árboles del estrato superior con diámetros largos de copa puede ser estimada directamente al medir los diámetros de las copas en la imagen obtenida antes de la tala y comparando los resultados con los resultados de las medidas hechas con imágenes obtenidas después de la tala ⁶⁾.

Determinando la relación entre el diámetro de copa y la biomasa

No es fácil medir los diámetros de las copas de los árboles en un bosque. Por lo tanto, por razones prácticas es deseable derivar la relación entre el diámetro de copa medido usando imágenes de sensoramiento remoto y la biomasa. Dado que generalmente las curvas de DAP (diámetro a altura de pecho) y altura son diferentes para distintos tipos de bosques, la relación

entre el diámetro de copa de un árbol y su biomasa debe ser derivada para cada tipo de bosque.

El bosque puede estar clasificado por tipo de bosque y por etapa de sucesión de la masa de bosque. Por lo tanto, el bosque debe ser clasificado por tipo de bosque antes de aplicar el método del diámetro de copa. Adicionalmente, la cantidad de madera muerta debe ser estimada de forma separada usando datos de observación de largo plazo obtenidos de parcelas permanentes de muestreo.

Notas sobre el uso del método del diámetro de copa

El método del diámetro de copa es apropiado para un bosque que consiste principalmente de árboles altos con grandes copas, tal como un bosque abierto, mientras que no lo es para el caso de bosques jóvenes secundarios o de bambú. Dado que la copa de un árbol es una estructura tridimensional, es mejor medir el diámetro de la copa con una técnica de medición tridimensional en un par de imágenes estéreo, o para hacer correcciones orto-geométricas precisas ⁷⁾.

La corona de los árboles altos puede ser dañada por relámpagos o el viento durante una tormenta. En este caso, la biomasa de un árbol determinada a partir del diámetro de su corona estaría sub-estimada. Asimismo, ramas que pertenecen a una misma corona pueden ser interpretadas erróneamente como dos o más árboles lo que también causaría sub-estimación. Por otro lado, un grupo de dos o más copas puede estar interpretada por una sola copa, lo que llevaría a una sobre-estimación de la biomasa. Errores como estos en conjunto constituyen el factor de error de estimación ⁸⁾. Es difícil distinguir árboles que han muerto por causa natural de aquellos que son cortados por tala selectiva usando solo imágenes satelitales, a pesar de que pueden haber rastros que hagan posible inferir que una tala selectiva ha tenido lugar ⁹⁾. La tala de árboles para leña o carbón en los estratos medio e inferior es, sin embargo, indetectable.

El costo de la medición puede ser alto dada la necesidad de datos de sensoramiento remoto de alta resolución. Por otro lado, la diferencia espacial en las reservas de carbono puede ser determinada aún en áreas donde es difícil el acceso por tierra o mediciones en varios puntos en campo.

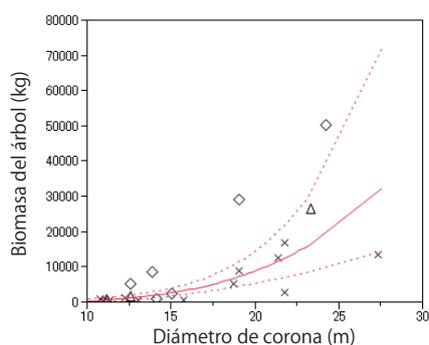


Figura T17-1 Relación entre el diámetro de la corona y la biomasa de un árbol. (Modificado de Kiyono et al. ²⁾)
 (◇ : Kalimantan, Indonesia
 △ : Cambodia, × : Java, Indonesia)



Figura T17-2 Extracción del polígono de copa por estereoscopía usando fotografías aéreas digitales (Bosque dipterocarpo seco en Kampong Thom, Cambodia)

INFO

5) En general, el porcentaje de toda la biomasa de la parte superior de los árboles es más elevada. Más aún, el diámetro de copa de los árboles del nivel superior es usado como índice de estado de desarrollo de la estructura de la masa boscosa.

INFO

6) See, for example, Win RN, Suzuki R, Takeda S (2012) Remote sensing analysis of forest damage by selection logging in the Kabaung Reserved Forest, Bago Mountains, Myanmar. J For Res 17: 121-128

INFO

7) Muchos satélites comerciales llevando sensores de alta resolución tienen una característica llamada función de mira que permite observaciones oblicuas, así incrementando el campo de observación. Sin embargo, debido a distorsiones debidas al ángulo de observación, los diámetros de las copas en los bordes de las imágenes puede no ser medida con precisión aún si se realizan correcciones orto-geométricas refiriéndose a un modelo de elevación digital preciso. Los diámetros de copa de los árboles en la parte central de tales imágenes (obtenidas cuando el sensor está apuntando directamente abajo del aeroplano, o mediante el uso de un ángulo pequeño de observación en el caso de imágenes satelitales) pueden ser medidas con precisión.

INFO

8) Adicionalmente, a pesar de que la densidad de la madera (gravedad específica de la madera) también influencia la estimación de la biomasa, la identificación de las especies es técnicamente difícil aún hoy en día. Por lo tanto, para simplicidad, la densidad de volumen de la madera se establece a un valor constante o se establece de acuerdo al tipo de bosque.

INFO

9) La tala selectiva puede ser indicada por la detección de áreas donde muchos árboles han sido cortados, o por la identificación de rastros por donde lo árboles han sido arrastrados.

Método de la edad de la comunidad

La Receta anterior es

Receta P11 Usando un modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa

Si el bosque fuera talado en el pasado y la vegetación estuviera en proceso de recuperación, la edad de la comunidad puede ser usada como un valor índice para la estimación de reservas de carbono. Aquí se delinea el método de la edad de la comunidad para la estimación de carbono y se describen las circunstancias bajo las cuales puede ser aplicada.

INFO

1) El número de años después de la cosecha, por ejemplo, el número de años de barbecho, es usado como un valor índice en la agricultura de corta y quema.

INFO

2) Inoue Y, Qi J, Olios A, Kiyono Y, Ochiai Y, Horie T, Asai H, Saito K, Shiraiwa T, Douangsavanh L (2007) Traceability of slash-and-burn land-use history using optical satellite sensor imagery: a basis for chronological assessment of ecosystem carbon stock in Laos. *Int J Rem Sens* 28: 5641-5648

INFO

3) Inoue Y, Kiyono Y, Asai H, Ochiai Y, Qi J, Olios A, Shiraiwa T, Horie T, Saito K, Dounagsavanh L (2010) Assessing land-use and carbon stock in slash-and-burn ecosystems in tropical mountain of Laos based on time-series satellite images. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 12: 287-297

Sobre el método de la edad de la comunidad

En los lugares donde la agricultura de corte y quema es practicada, en tiempo de cosecha de cultivos, el terreno se limpia y se permite que la vegetación natural se recupere de forma gradual. La tierra también puede ser limpiada para establecer plantaciones de cultivo perenne tales como caucho, palma aceitera o una plantación forestal. En cada caso, la comunidad vegetal que se compone ya sea de vegetación natural o plantaciones forestales tienen una edad uniforme y es posible estimar la reserva de carbono de el ecosistema utilizando la edad de la comunidad ¹⁾ en regiones donde tales usos de suelo son practicados.

Más aún, debido a que el área de cada edad de comunidad puede ser determinada a partir de una serie temporal de imágenes satelitales ²⁾, las reservas de carbono en tales áreas pueden ser calculadas con la multiplicación del área total y la reserva de carbono por unidad de área determinado por el método de la edad de la comunidad ³⁾. Adicionalmente, el método puede ser usado para estimar la degradación forestal producto de, por ejemplo, una reducción del período de barbecho en sistemas agrícolas de corte y quema, o los cambios en la reserva de carbono producto de la conversión de bosque natural a plantaciones de caucho o palma aceitera ³⁾.

Creación de la ecuación de relación mediante un estudio de campo

La relación entre las reservas de carbono y el número de años de barbecho, durante los cuales se permite la recuperación del bosque después de la cosecha en agricultura de corte y quema, ha sido determinada de forma empírica para el Norte de Laos y el Norte de Vietnam ⁴⁾. Estas curvas de recuperación muestran un rápido incremento de las reservas de carbono en los primeros años, después de los cuales el incremento desacelera y eventualmente llega a un tope (Figura T18-1).

Para estimar las reservas de carbono mediante el método de la edad de la comunidad, se deben determinar las reservas de carbono en comunidades de edades diferentes mediante estudios de campo, para luego usar los datos en la creación de una relación

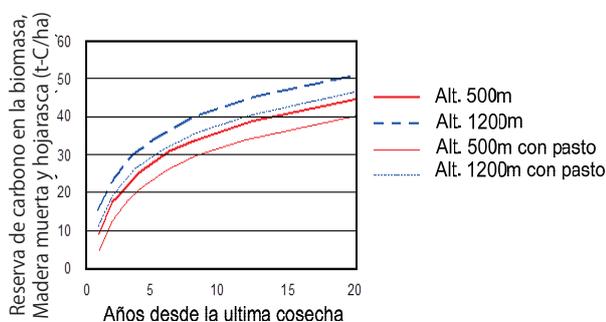


Figura T18-1 Relación entre los años a partir de la última cosecha y las reservas de carbono del ecosistema (Modificado a partir de Kiyono et al. 2007)

matemática.

Para esto, se deben establecer parcelas de muestreo en áreas con vegetación de edad conocida y uniforme. Luego, en una parcela en donde las plantas herbáceas son dominantes, después de la limpieza, las plantas pueden ser cortadas y pesadas ^{5),6)} y su peso convertido a reservas de carbono. En parcelas donde las plantas leñosas se han establecido, las reservas de carbono pueden ser estimadas mediante un inventario forestal.

La tasa de recuperación de la vegetación después de que los cultivos de una agricultura de corta y quema han sido cosechados puede variar bajo diferentes condiciones ambientales (por ejemplo, perturbación durante la recuperación o diferencias de elevación). Por ejemplo, la recuperación de reservas de carbono después de la cosecha en el norte de Laos depende de si el ganado se alimentó en el terreno durante el período de barbecho y de si el lugar se encuentra en terreno bajo, o en las montañas ²⁾ (Figura T18-1). Factores tales como éstos necesitan ser puestos en consideración cuando una relación matemática es desarrollada y la información sobre éstos tiene que ser obtenida para mejorar la precisión de la estimación.

Ventajas y desventajas del método de la edad de la comunidad

Esta técnica es aplicable en lugares donde el manejo de la tierra es local y en donde los cambios inesperados de vegetación ocurre raramente. Es particularmente aplicable en donde se realiza rotación del uso del suelo en intervalos fijos, de tal forma que da a lugar un mosaico de comunidades de edades diferentes (Figura T18-2). Bajo estas condiciones, los datos de campo que son necesarios para desarrollar una relación matemática puede ser adquiridos con relativa facilidad. Es importante saber exactamente cuándo cada parcela ha sido limpiada, por lo que se necesita realizar monitoreo por lo menos una vez al año.

Si el método de la edad de la comunidad es aplicada en una área extensa (por ejemplo, a nivel nacional o sub-nacional) entonces se requieren dos o más relaciones matemáticas que consideren distintos usos de suelo después de la cosecha (agricultura de corte y quema) y especies diferentes entre plantaciones. Otra desventaja es que el volteo de árboles en el área objetivo, o la recolección de madera para leña no puede ser detectada por el método. Si cualquiera de éstos ocurre de forma común, su impacto en las reservas de carbono necesita ser determinado con un estudio adicional.

Bibliografía

Condit R (1997) Tropical Forest Census Plots. Springer-Verlag

INFO

4) Do TV, Osawa A, Thang NT (2010) Recovery process of a mountain forest after shifting cultivation in Northwestern Vietnam. *For. Ecol. Manage.* 259: 1650-1659

INFO

5) La biomasa de todas las plantas herbáceas creciendo en una parcela de un tamaño determinado (por ejemplo, 1 m²) se determina cortando las plantas a nivel del suelo y determinando su peso seco total. Esta técnica es usada principalmente para determinar la biomasa en pastizales.

INFO

6) Mannerje L.'t (2000) Measuring biomass of grassland vegetation. In: *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Mannerje L.'t, Jones RM (ed.) CABI Publishing Univ Press, Cambridge, 151-177



Figura T18-2 Barbechos de agricultura de corta y quema en un patrón-mosaico de diferentes años de barbecho en el norte de Laos

(Foto tomada por Naoyuki Furuya)

Método del coeficiente de retrodispersión

La Receta anterior es

Receta P11 Usando un modelo de estimación de la reserva de carbono de la masa

El Radar Satelital de Apertura Sintética (SAR) es una tecnología de sensoramiento remoto que puede observar la superficie de la tierra aún cuando la superficie está oscurecida por las nubes. El coeficiente de retrodispersión ¹⁾ de la radiación reflejada observada por el SAR está correlacionada con la biomasa aérea hasta un total de biomasa de casi 100 t/ha, existiendo saturación en casos que exceden dicho valor. Así, al modelar la relación entre el coeficiente de retrodispersión y la biomasa, la reserva de carbono puede ser medida en, por ejemplo, bosques en donde haya ocurrido perturbación extensa y que aún se encuentre en un estado de sucesión temprana tal como el estado de recuperación después de la corta y quema. Aquí se explica a grandes rasgos el método del coeficiente de retrodispersión y se describen las limitantes de su aplicación.

INFO

1) El número digital recibido (Sigma-Cero) o un valor corregido, donde la dependencia a un ángulo incidente ha sido rectificada por corrección geográfica (Gamma-Cero), pueden ser usados como coeficiente de retrodispersión ²⁾.

INFO

2) Shimada M (2010) Orthorectification and slope correction of SAR data using DEM and its accuracy evaluation. IEEE J Select Topic Appl Earth Obs Remo Sens 3(4): 657-671

INFO

3) Lucas RM, Cronin N, Lee A, Moghaddam M, Witte C, Tickle P (2006) Empirical relationships between AIRSAR backscatter and LiDAR-derived forest biomass, Queensland, Australia. Rem Sens Environ 100: 407-425

INFO

4) Roy J, Saugier B, Mooney, HA (2001) Terrestrial Global Productivity. Academic Press.

Sobre el método del coeficiente de retrodispersión

El SAR es un sensor activo que transmite pulsos de microondas a la superficie de la tierra para luego detectar los pulsos reflejados por ésta. El coeficiente de retrodispersión es derivado de las señales de reflexión ²⁾. La correlación entre el coeficiente de retrodispersión y la biomasa es alto para longitudes de onda corta (Banda L, cerca de 23cm), existiendo saturación a partir de casos que presenten biomasa de 100 t/ha aproximadamente ³⁾. Como referencia de comparación, la biomasa aérea de un bosque tropical maduro puede ser tan alto como 400-500 t/ha y usualmente excede las 200 t/ha ⁴⁾.

Por esta razón, es difícil estimar la biomasa de un bosque maduro. Sin embargo el método es apropiado para producir mapas de cambios de biomasa a lo largo de áreas extensas de bosque que se recuperen de algún tipo de perturbación a gran escala (por ejemplo, agricultura de corte y quema o establecimiento de plantaciones). En terrenos irregulares, la distorsión topográfica debe ser corregida.

Creación de un modelo de estimación mediante estudios de campo

Inicialmente el coeficiente de retrodispersión se incrementa rápidamente al incrementarse la biomasa, luego el incremento disminuye gradualmente hasta que se llega a un estado de saturación. Así, la relación entre el coeficiente de retrodispersión y la biomasa puede ser aproximada por una función exponencial ³⁾ (Figura T19-1). Se llega más rápido a un nivel de saturación con ondas cuasi-polarizadas (HH, VV) que con ondas cruz-polarizadas (HV,VH). La relación matemática (modelo) es creada mediante la colección de datos de biomasa en el campo con los cuales se calcula la reserva de carbono. Luego se comparan estos resultados con los coeficientes de retrodispersión para la misma área. Para obtener estimados de biomasa de alta

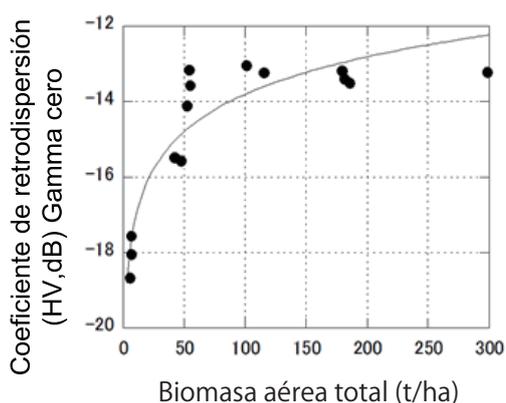


Figura T19-1 Relación entre el coeficiente de retrodispersión y la biomasa aérea total

precisión, los datos de campo deben ser obtenidos de masas forestales de diversos valores de biomasa. Es particularmente importante la recolección de datos de masas forestales de baja biomasa. A pesar de que el modelo de estimación puede depender del tipo de bosque, el modelo debería ser aplicable a dos o más escenas de satélite dado que el cambio del coeficiente de retrodispersión causado por diferencias estacionales es pequeño en bosques tropicales densos.

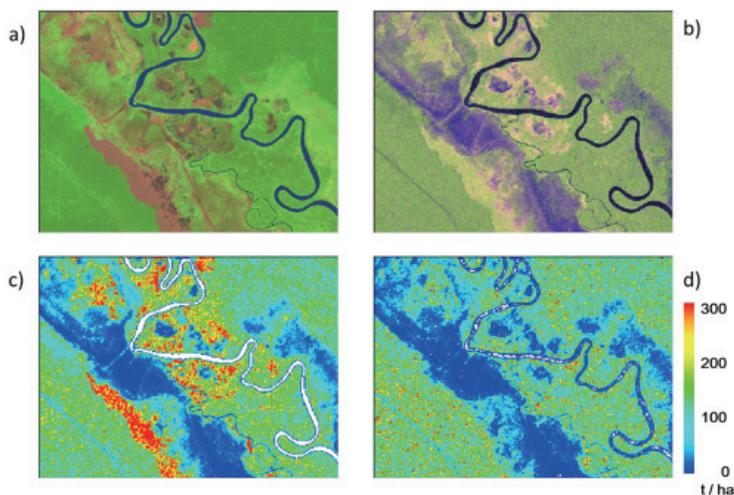


Figura T19-2 Distribución estimada de la biomasa aérea por el método del coeficiente de retrodispersión.

- a) Área de estudio en imagen Landsat 7 ETM+, Agosto 2007, b) Área de estudio en ALOS/PALSAR, Octubre 2007, c) Distribución estimada de la biomasa aérea, d) Estimación mejorada al corregir los efectos del "rebote doble".
- Los bosques son mostrados en color verde en ambas a) y b), mientras que las áreas quemadas y bosques de pantanos dispersos se muestran de color beige en b). La sobre-estimación de la biomasa debido al rebote doble c) es reducida con una corrección en d).

ALOS/PALSAR: © JAXA,METI

Un ejemplo de estimación de biomasa

La figura T19-2 ilustra la estimación de biomasa por el método del coeficiente de retrodispersión en el bosque del pantano de turba en Kalimantan central, Indonesia. En el bosque natural de esta área la biomasa es cercana a 300 t/ha y se ha llegado a la saturación en el coeficiente de retrodispersión. En un bosque disperso en el que la superficie del suelo del bosque está cubierto de agua (un pantano), después de que los pulsos electromagnéticos del SAR son reflejados por la superficie del agua, éstos pueden reflejar el tronco de un árbol u otro objeto antes de ser reflejados de regreso al sensor del SAR. Esto es llamado "rebote doble" y puede causar sobre-estimación de la biomasa. El sesgo del rebote doble puede ser eliminado si se usa la polarización dual como se muestra en la Figura T19-2.

Ventajas y desventajas del método del coeficiente de retrodispersión

Dado que la banda L del SAR penetra las nubes, los datos pueden ser adquiridos aún en un área que es nubosa en la mayor parte del año. Así, se espera que el método del coeficiente de retrodispersión sea especialmente útil en bosques lluviosos tropicales en donde la deforestación es un gran problema.

A pesar de que las reservas de carbono de bosques de baja biomasa pueden ser estimadas con suficiente precisión, la precisión del método es baja en bosques de alta biomasa, así que los resultados no son confiables. Por esta razón, el uso del método se restringe a bosques en una etapa temprana de sucesión, o puede ser usado para monitorear un área que ha sido talada.

Ruido excesivo, llamado ruido granular, ocurre irregularmente en datos SAR. Este ruido puede ser reducido al promediar los valores a través de grupos de píxeles vecinos, en vez de usar valores por cada píxel de forma individual, pero como resultado la resolución a nivel del suelo de la medición se deteriora.

Actualmente, la corrección topográfica en áreas montañosas no es suficientemente precisa, por lo que el método del coeficiente de retrodispersión no puede ser aplicado a un bosque cuyo terreno tiene pendiente alta. En general, la precisión de la estimación de la biomasa disminuye cuando la pendiente es mayor al rango que va de 10° a 15°. La precisión baja de incluso los valores corregidos puede ser causada en parte por el uso de datos de elevación de baja precisión para la corrección, o puede ser causada por usar un modelo de corrección que no considere la dispersión de las copas de los árboles que crecen en las pendientes. En el futuro, estos problemas pueden ser resueltos con lo que el método podrá ser usado en casos de bosques de alta pendiente.



Guía de Referencia

【Guía de Referencia】

Esta guía de referencia introduce material de lectura adicional (reportes, guías, manuales, publicaciones científicas) para ayudar a los usuarios de este Libro de Recetas a profundizar su comprensión sobre las recetas presentadas en Introducción y Planeamiento (Capítulos 1-5). Más aún, esta guía incluye referencias que contienen recomendaciones, sugerencias y estudios de casos relevantes a cada receta, las cuales serán de ayuda a quienes busquen soluciones prácticas para los retos que puedan encontrar en el diseño e implementación de proyectos y programas.

Audiencia objetivo:

- ✓ Generadores de políticas, desarrolladores de programas y colaboradores que se encuentran abordando actividades REDD-plus a nivel nacional/sub-nacional.
- ✓ Proponentes de proyectos REDD-plus.
- ✓ Personas que deseen expandir sus conocimientos sobre la REDD-plus más allá de la medición de carbono.

Cómo usar esta guía

Las referencias se presentan en la siguiente forma:

No	Título	Idioma*3	Año	Autor principal	Organización o Editor
Receta*1	Descripción general				
Nivel de implementación*2	(Aquí se discuten aspectos múltiples de cada referencia. Ejemplo: objetivo, puntos principales, comprensibilidad, nivel de detalle, sugerencias prácticas, estudio de casos y su utilidad.)				
Fuente de los materiales originales					

*1 Receta relacionada en el Libro de Recetas

*2 Nivel de implementación para el cual la referencia es más útil: internacional, nacional, sub-nacional o proyecto.

*3 Claves de lenguaje: CH: Chino, EN: Inglés, FR: Francés, IN: Indonesio, JP: Japonés, PO: Portugués, SP: Español, VI: Vietnamita.

Información Adicional

Aquellos usuarios que deseen aprender más sobre alguna receta en particular debe visitar la Base de Datos de Referencias del Centro de Investigación y Desarrollo REDD para información de referencia adicional.

<http://www.frpi.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/reference/list-01.html>

Capítulo 1: Acerca de la REDD-plus

No.1	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation	EN	2011	Agrawal et al	Annual Review of Environment and Resources
I01 Historia de la REDD-plus y su estado actual	Esta revisión evalúa las tendencias de las discusiones acerca de la REDD-plus principalmente desde una perspectiva socio científica. Después de presentar la historia de las negociaciones de la REDD-plus y explicar los aspectos sociales y ambientales de la misma, hace una revisión breve de los actores en iniciativas internacionales y nacionales, mercados y sociedad civil así como también los problemas del monitoreo de las reservas de carbono con el tema transversal de los retos que plantea el mismo.				
Internacional, Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-enrion-042009-094508					

No.2	REDD-plus (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries)	EN JP	2012 2 nd Ed.	Japan International Cooperation Agency (JICA), International Tropical Timber Organization (ITTO)	
I01 Historia de la REDD-plus y su estado actual	Este libro, publicado por la JICA y la ITTO, está diseñada para el público en general con el objetivo de generar mayor conciencia e incrementar la comprensión sobre la REDD-plus. Adicionalmente a la introducción breve del contexto y el concepto de la REDD-plus, da una visión sobre las políticas del gobierno Japonés en el tema del cambio climático y el involucramiento de la JICA y la ITTO en la REDD-plus. Esta publicación será de mayor beneficio para aquellos que se inicien en el tema de la REDD-plus y que deseen entender el concepto básico de la misma y para aquellos lectores involucrados en la REDD-plus que deseen entender de forma holística los proyectos relacionados con el tema y las actividades implementadas por la JICA y la ITTO.				
Internacional, Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.jica.go.jp/publication/pamph/pdf/redd.pdf					

No.3	What is the right scale for REDD? The implications of national, subnational and nested approaches	EN VI	2008	Angelsen et al.	CIFOR
I02 Conceptos clave de la REDD-plus	Este es un informe corto que brinda una idea clara de tres enfoques en niveles o escalas diferentes de la REDD y mecanismos de incentivo: nacional, sub-nacional, y proyecto o enfoque anidado. Los tres enfoques son brevemente presentados y evaluados con los criterios de efectividad, eficiencia y equidad. A pesar de que este breve documento no contiene estudios de casos, es útil para entender el concepto, los argumentos a favor y en contra de cada enfoque en un corto tiempo. Es altamente recomendado, particularmente para aquellos que deseen entender el concepto del vínculo entre los proyectos REDD-plus con las actividades de la REDD-plus a nivel nacional.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2595.html					

No.4	REDD+ at project scale: Evaluation and Development Guide	EN FR	2010	Calmet et al.	EFEM, ONFI, etc.
I02 Conceptos clave de la REDD-plus	Esta es una guía sobre el desarrollo y evaluación de proyectos REDD+ diseñado para los desarrolladores de proyectos, inversionistas y agencias de financiamiento. Esta guía cubre un rango de tópicos de forma equilibrada tales como la selección del sitio, diseño e implementación de actividades, aspectos legales e institucionales, aspectos económico-financieros y salvaguardas sociales y ambientales. También presenta estudios de casos y brinda sugerencias específicas para cada tópico. Esta guía es altamente recomendada para proponentes de proyectos y formuladores de políticas y programas para la REDD+.				
Proyecto					
http://www.onfiinternational.org/					

No.5	Building Forest Carbon Projects: Step-by-Step Overview and Guide ¹⁾ In: Building Forest Carbon Projects ²⁾	EN	2011	1) Olander & Ebeling 2) Ebeling & Olander (ed.)	Forest Trends
I02 Conceptos clave de la REDD-plus	Es la guía destinada para los que implementan el proyecto donde explica desde diversos ángulos los requerimientos para el éxito del proyecto, tales como los requerimientos técnicos, socio ambientales y financieros basándose en la experiencia del proyecto relacionado con el carbón forestal de Forest Trends. Esta serie, además de este libro, está compuesto por guías en 8 temas tales como REDD, Forestación y reforestación, evaluación de carbón almacenado, participación de la población, aspecto legal, gestión y marketing, impacto social e impacto a la biodiversidad. Cada guía, será de utilidad para los que implementan el proyecto. Todos estos, pueden ser obtenidos en forma gratuita.				
I03 Medida, reporte y verificación (MRV) del monitoreo forestal					
I04 Diseño del sistema de monitoreo forestal					
Proyecto					
http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555					

Capítulo 2: Diseñando un sistema de monitoreo de bosque

No.6	Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks... Technical paper (FCCC/TP/2009/1)	EN	2009	Oficina ejecutiva de UNFCCC
I02 Conceptos clave de la REDD-plus	Este artículo técnico preparado por la secretaría de la UNFCCC da una visión general de los requerimientos, pasos, y costos de desarrollar e implementar un sistema de monitoreo de gases de efecto invernadero. Contiene información del estado actual de la capacidad de monitoreo de los países que no pertenecen al Anexo 1 y la capacidad requerida para la implementación del sistema, estimación del costo por país, por cada paso del desarrollo del sistema, por área superficial del país y la relación entre el costo, exactitud y precisión. Este reporte también presenta un estudio de caso referido al desarrollo del sistema de monitoreo forestal nacional de la India y más referencias a estudios que condujeron análisis de costos detallados de desarrollo. Se recomienda para aquellos a cargo de sistemas de monitoreo forestal a nivel nacional para la REDD+ y aquellos que deseen seguir este tópico.			
I03 Medida, reporte y verificación (MRV) del monitoreo forestal				
Nacional				
http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?preref=600005151				

No.7	An assessment of national forest monitoring capabilities in tropical non-Annex I countries: Recommendations for capacity building.	EN	2009	Herold	Oficina de Proyectos de la GOFC-GOLD
I03 Medida, reporte y verificación (MRV) del monitoreo forestal	Este estudio apunta a identificar, para 99 países que no pertenecen al Anexo 1, las actividades de desarrollo de capacidades a corto plazo que son necesarias para la implementación de un sistema de monitoreo de las reservas de carbono y cambio de área de bosque. Los lectores obtendrán un resumen del estado del desarrollo de los sistemas de monitoreo forestal en 99 países y los correspondientes retos que implican. Adicionalmente, el estudio provee reportes nacionales detallados de la capacidad actual y sugerencias para un mayor desarrollo de capacidades para 30 de dichos países. El estudio será de mayor beneficio para los gestores de proyectos que deseen entender el estado actual del sistema de monitoreo de carbono forestal en países de su interés.				
Internacional, Nacional					
http://unfccc.int/					

No.8	Estimating the cost of building capacity in rainforest nations to allow them to participate in a global REDD mechanism	EN	2008	Hoare et al.	Chatham House
I04 Diseño del sistema de monitoreo forestal	Este reporte estima los fondos requeridos para las actividades de "Preparación" necesarias para 25 países que presentan bosques lluviosos para participar en el mecanismo de la REDD. Calcula los costos de actividades concretas tales como la del desarrollo de una estrategia nacional para la REDD, el desarrollo de niveles de referencia e inventarios forestales, el planeamiento y zonificación del uso del suelo y las políticas y reforma legales forestales. El Anexo 1 contiene estudios de casos de proyectos y sus costos analizados para este reporte. Este reporte será de mayor beneficio para formuladores de políticas o donantes como referencia para los fondos que son necesarios para la preparación, así como también como un catálogo de casos estudiados.				
Nacional, Sub-nacional					
http://www.illegal-logging.info/item_single.php?it_id=744&it=document					

No.9	A stepwise framework for developing REDD+ reference levels. In: Analysing REDD+ Challenges and choices	EN	2012	Herold et al.	CIFOR
I04 Diseño del sistema de monitoreo forestal	Este es el primer capítulo de la publicación del CIFOR "Analizando los retos y las opciones de la REDD-plus" (título original: "Analysing REDD+ challenges and choices") en donde se presenta de forma detallada el enfoque gradual necesario para el establecimiento del nivel de referencia. En el tema del establecimiento de los niveles de referencia, se presentan tres pasos que se diferencian en el nivel técnico, y se da una visión general sobre el tema de la incertidumbre y cómo manejarla. También se presenta una predicción de los motores de la deforestación (para Brasil, Indonesia y Vietnam) usando un análisis de regresión multivariada, la cual corresponde al paso 2. Adicionalmente, tal y como se presenta en el anexo BOX 16.3, se ordena de forma conveniente algunos términos técnicos sencillos que comúnmente causan confusión (3 fases, 3 enfoques, 3 niveles, 3 pasos) y que son importantes para entender la REDD-plus.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html					

No.10	What is needed to make REDD+ work on the ground? Lessons learned from pilot forest carbon initiatives	EN SP PO FR CH	2010	Harvey et al.	Conservation Internacional
I04 Diseño del sistema de monitoreo forestal	Este reporte provee un resumen de los factores clave que son necesarios para asegurar que los proyectos de la REDD-plus sean exitosos en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que también provee co-beneficios para la biodiversidad y la sociedad. Se basa en las experiencias iniciales de 12 proyectos de carbono en bosques (5 proyectos REDD-plus y 7 AR/CDM). Estos reportes remarcan cinco factores clave para el éxito: 1) sociedades fuertes y capacidad local; 2) información y análisis científico-técnico robustos; 3) Financiamiento suficiente para el desarrollo del proyecto; 4) Fuerte participación de los actores para el diseño del proyecto y su implementación; y 5) apoyo pleno del gobierno. Este reporte provee una visión general de cómo los 12 proyectos de carbono forestal fueron diseñados e implementados, e incluye un resumen de las lecciones claves aprendidas. También provee recomendaciones acerca de cómo asegurar que los proyectos de carbono en bosques provean los beneficios climáticos, sociales y en biodiversidad que se desean. Este reporte será de mayor beneficio para gestores de proyectos que están iniciando estudios de viabilidad.				
Proyecto					
http://www.conservation.org/publication/Pages/REDD_lessons_learned.aspx					

Chapter 3: Conocimientos básicos necesarios para la implementación de la REDD-plus

No.11	Legal Frameworks for REDD : Design and Implementation at the National Level	EN	2009	Costenbader et al.	IUCN
I04 Diseño del sistema de monitoreo forestal	Este reporte de la IUCN en marcos legales para la REDD presenta los requerimientos legales que deben ser tratados a nivel nacional (tales como la tenencia de la tierra, derechos de uso, participación, distribución de beneficios, adicionalidad y permanencia) y hace sugerencias sobre desarrollo de marcos. Como apéndice se incluye una lista de chequeo de estos requerimientos y ejemplos de marcos legales para la REDD-plus de cuatro países (Brasil, Camerún, Guyana y Papúa Nueva Guinea), los cuales han sido escogidos cuidadosamente considerando condiciones geográficas, superficie de bosque, tasa de deforestación, etc. Este reporte será útil para los formuladores de proyectos y proponentes de proyectos que deseen investigar temas que deben ser tomados en consideración al desarrollar un marco legal para la REDD en sus propios países.				
P03 Salvaguardas					
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.iucn.org/					

No.12	The Importance of Defining 'Forest': Tropical Forest Degradation, Deforestation, Long-term Phase Shifts, and Further Transitions	EN	2010	Putz et al.	Biotropica Vol 42 Issue 1
P01 Definiciones de bosque, deforestación, degradación forestal y el "plus" en la REDD-plus	Este artículo es una discusión amplia sobre la historia del término "bosque" y su uso por diversos actores en las ciencias naturales y sociales. El artículo incluye la discusión de "bosque" como lo define la UNFCCC y la FAO y la de las definiciones "deforestación" y "degradación forestal" en regiones tropicales que son usadas para la REDD-plus. Esta publicación es particularmente útil para los negociadores en el tema de la REDD-plus, para los investigadores que estén interesados en el tema de la REDD-plus y para aquellos que deseen entender las definiciones utilizadas en las discusiones sobre la REDD-plus y los problemas que existen con estas definiciones.				
Internacional, Nacional					
http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2009.00567.x/abstract					

No.13	Global and national REDD+ architecture Linking institutions and actions. In: Realising REDD+ National strategy and policy options	EN	2009	Wertz-Kanounnikoff et al.	CIFOR
P01 Definiciones de bosque, deforestación, degradación forestal y el "plus" en la REDD-plus	Un tópico del primer Capítulo del libro publicado por la CIFOR titulado "Descubriendo la estrategia nacional de la REDD-plus y las opciones en políticas" (título original: "Realising REDD+ National strategy and policy options") es la discusión sobre el "-plus" de la REDD. El capítulo describe brevemente la historia de las negociaciones y sobre cómo la "RED" evolucionó a "REDD-plus". Adicionalmente, en Box 1.1 en el Capítulo 1 de este libro se hace un resumen de la definición de la REDD-plus. Estas partes del libro son de mucha utilidad para los principiantes en la REDD-plus o aquellos que deseen revisar la discusión sobre la definición de la REDD-plus.				
Internacional					
http://www.cifor.org/online-library/brose/view-publication/pulication/2871.html					

No.14	(A) REDD+ Institutional Options Assessment (Chapter 2) (B) Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report (Chapter 2)	EN FR SP PO	2009	(A) Streck et al. (B) Angelsen et al.	Merdian Intitute
P02 Enfoque por fases	Estos dos reportes (A) y (B) presentan el enfoque en fases. El capítulo 2 del reporte (A) resume las tres fases. En particular, la Tabla 2.1 es una introducción útil a temas específicos tales como las actividades, costos, indicadores de desempeño y la capacidad para la MRV así como también un resumen de los requerimientos de cada fase. El capítulo 2 del reporte (B) explica las relaciones entre el enfoque en fases y las opciones de financiamiento en detalle. Se hace una descripción de actividades que requieren apoyo financiero y propone opciones para la movilización de financiamiento internacional para cada fase. Estos dos capítulos son lecturas sugeridas para aquellas personas que desean entender lo básico acerca del enfoque en fases.				
Internacional, Nacional					
http://www.redd-oar.org/rl.html					

No.15	REDD+ safeguards in national policy discourse and pilot projects. In: Analysing REDD+ Challenges and choices	EN	2012	Jagger et al.	CIFOR
P03 Salvaguardas	Este capítulo en el libro de la CIFOR da una visión general del estado actual de las salvaguardas ambientales y sociales y remarca los retos y opciones para la implementación de las salvaguardas de la REDD-plus. Este resumen consiste principalmente en un análisis de las salvaguardas establecidas en muchos proyectos piloto en curso en Brasil, Camerún, Indonesia, Tanzania y Vietnam. También discute los problemas principales de las salvaguardas cubiertas por los medios de comunicación nacionales. Este capítulo será de mucha utilidad para los proponentes de proyectos que desean obtener la información necesaria para entender las negociaciones actuales en la UNFCCC que tratan sobre cómo las salvaguardas para las actividades de la REDD-plus deben ser abordadas y respetadas.				
Internacional, Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.cifor.org/online-library/brose/view-publication/pulication/3805.html					

No.16	Safeguarding and enhancing the ecosystem-derived benefits of REDD+ Multiple Benefits Series 2	EN	2010	Miles et al.	UNEP-WCMC, UN-REDD Programme
P03 Salvaguardas	Este artículo provee ideas concretas sobre cómo los programas nacionales de la REDD-plus pueden salvaguardar los servicios y la biodiversidad de un ecosistema y propone opciones para mejorar estos beneficios. Se describen enfoques y métodos para la mejora de los servicios y beneficios del ecosistema de una manera amplia e introduce herramientas disponibles para este propósito. Este artículo será particularmente útil para aquellos desarrolladores de programas que necesiten incorporar la consideración de las salvaguardas para los servicios y la biodiversidad de los ecosistemas en un programa REDD-plus				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.unep-wcmc.org/multiple-benefits-series-2_629.html					

No.17	Multiple Benefits Series 5 & 6 a. Ecosystem services and biodiversity from new and restored forests: tool development b. Methods for assessing and monitoring change in ...	EN	2010	(A) Miles et al. (B) Doswald et al.	UNEP-WCMC, UN-REDD Programme
P03 Salvaguardas	Se presenta dos informes útiles para la salvaguarda ambiental para los proyectos y programas de forestación, reforestación y recuperación forestal. A) ofrece el conocimiento útil para pronosticar el impacto que produce la actividad de forestación y recuperación forestal en la biodiversidad, suministro de agua, conservación de suelo, productos no forestales mediante una ilustración fácil de comprender visualmente denominado "Scorecard" y presenta diversas tesis como fundamento de la misma. B) Explica de forma sencilla los requerimientos y procedimientos para diseñar el sistema de monitoreo y evaluación del impacto mencionado, y presenta varias guías y métodos necesarios para el diseño de dicho sistema. Sería efectivo que los lectores que estén interesados en obtener conocimientos básicos sobre los enfoques básicos para evitar impactos ambientales no previstos por la forestación y reforestación, procedan a la lectura de ambos documentos.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.un-redd.org/MultipleBenefitsPublications/tapid/5954/Default.aspx					

No.18	Climate Change & the Role of Forests A Trainer's Manual	EN etc.	2010	Stone et al.	Conservation International
P03 Salvaguardas	El material de "The Climate Change and the Role of Forest – Training of trainers" está diseñado para expandir el conocimiento de comunidades locales acerca de temas relacionados con la ciencia del clima, el ciclo del carbono en el bosque, la política sobre el clima, pago por servicios del ecosistema y la REDD-plus. El objetivo principal de estos materiales es la de incrementar el número de entrenadores hábiles que sean capaces de brindar información de forma efectiva en temas relacionados al cambio climático y la REDD-plus a comunidades y otros actores locales. La metodología incluye la guía en el diseño de la capacitación y habilidades de facilitación. Asimismo, a lo largo del manual, las herramientas de entrenamiento incluyen tarjetas de memoria, afiches y actividades de entrenamiento. Los materiales están disponibles en siete idiomas (Inglés, Español, Francés, Bahasa o Indonesio, Malayo, Khmer o Camboyano y Mandarín) y han sido usados en 12 países. El set de herramientas está disponible para organizaciones sin fines de lucro a solicitud.				
Proyecto					
http://www.conservation.org/pulications/Pages/climate_change_and_the_role_forests.aspx					

No.19	Emissions factors. Converting land use change to CO ₂ estimates. In: Analysing REDD+ Challenges and choices	EN	2012	Vercho et al.	CIFOR
P04 Medición de carbono en bosques	Este capítulo de "Analysing REDD+ Challenges and choices" presenta las mediciones de carbono en bosques en la REDD-plus y describe el estado actual de los países que no pertenecen al Anexo 1 en relación a sus capacidades y la información que disponen para la medición, y concluye con un resumen de los retos futuros. Este capítulo también da explicaciones detalladas del método de pérdidas y ganancias (incluyendo un enfoque para las turberas) y el enfoque del Nivel 1 el cual se discute muy brevemente en este Libro de Recetas. Más aún, este capítulo cubre un rango de tópicos que van desde los factores de emisión disponibles actualmente y la posibilidad de mejorarlos, hasta la integración potencial de monitoreo de carbono de comunidades con el monitoreo de carbono a nivel nacional. Este capítulo es particularmente recomendado para aquellos que deseen una presentación concisa de las medidas de carbono de bosques no tratada en este Libro de Recetas.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html					

No.20	(A) Reporting on Climate Change Use manual for the guidelines on national communications from non-Annex I Parties (B) UNFCCC Resource Guide For Preparing The National Communications of Non-Annex I Parties. Module 3 National greenhouse Gas Inventories	EN FR SP	(A) 2004 (B) 2009	UNFCCC	
P05 Reporte de carbono en bosques	El manual (A) fue preparado para ayudar a los países que no están en el Anexo 1 a desarrollar un comunicado nacional (NC) basado en información disponible actualmente. Para asegurar que las partes documenten plenamente todo lo que necesita ser documentado, se proveen una explicación detallada así como también consejos y artículos relevantes de la Convención. Adicionalmente, para mayor explicación, se disponen de cuatro sets de guías de recursos. La tercera guía (B) provee de lineamientos para el desarrollo de un inventario nacional de gases de efecto invernadero. Dado que las reglas de la REDD-plus están siendo negociadas, no sabemos qué países deben reportar o cómo deben estructurar su reporte. Aún así, estos documentos ayudan a visualizar qué debería contener un reporte a nivel nacional.				
Internacional, Nacional					
http://unfccc.int/national_report/non-annex_i_natcom/guidelines_and_user_manual/items/2607.php					

Capítulo 4 : Medición, reporte y verificación de carbono en bosques

No.21	IPCC Inventory Software	EN	2012	The IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories
P05 Reporte de carbono en bosques	Este software ha sido desarrollado para apoyar a los países a desarrollar un inventario nacional de gases de efecto invernadero (ver la receta P05 del Cookbook) y los comunicados nacionales para su presentación a la UNFCCC. La estructura de este software sigue las metodologías de los niveles 1 y 2 de la guía del IPCC del 2006. Dado que datos de ejemplo para la metodología del Nivel 1 ha sido ya incluida en el software, los usuarios pueden usar esos datos para efectuar simulaciones. Adicionalmente, un manual de usuario para el software puede ser también descargado desde el mismo sitio web. Dado que los requerimientos específicos para el reporte aún no han sido decididos, este software será útil para aquellos que deseen empezar el planeamiento del desarrollo de un inventario y los requerimientos probables del reporte.			
Internacional, Nacional				
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html				

No.22	8. Verification and Issuance. In: Building Forest Carbon Projects. Step-by-Step Overview and Guide	EN	2011	Olander & Ebeling	Forest Trends
P06 Verificación del carbono en bosques	Esta guía es una introducción a la verificación y emisión de créditos a nivel de proyecto (esta guía está también en la serie "Building Forest Carbon Projects" presentada en No.5). Dado que la UNFCCC aún no ha acordado la modalidad de verificación de la REDD-plus, este capítulo explica los pasos básicos para la verificación de los beneficios del proyecto, los costos posibles para la verificación y la importancia de la oportunidad de la verificación inicial, dando ejemplos de VCS y CDM. Adicionalmente, describe brevemente la relación entre la emisión de créditos y la verificación. Esta sección de la guía será útil para aquellos que necesiten información acerca de la modalidad de verificación de la REDD-plus a nivel de proyecto.				
Proyecto					
http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555					

No.23	Remote sensing and image interpretation Sixth Edition	EN	2007	Lillesand et al.	John Wiley & Sons, Inc.
P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto	Este libro es la sexta edición (la primera edición fué publicada en el año 1979) de un muy conocido texto en sensoramiento remoto e interpretación de imágenes que es usado en todo el mundo. El libro está diseñado como referencia para los practicantes que tratan con información geo-espacial en varios campos. Dado que el libro se perfila como un texto general sobre sensoramiento remoto, éste provee relativamente poca información específica en relación a los ecosistemas boscosos. Aún así, es altamente recomendado para aquellos que deseen adquirir conocimientos fundamentales sobre temas de sensoramiento remoto presentados en P08 y en el capítulo 7, tales como los tipos de datos en sensoramiento remoto, selección de datos, pre-procesamiento de datos, métodos de clasificación y verificación de precisión.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
Book available for purchase ISBN978-0470052457					

No.24	Field Methods in Remote Sensing	EN	2005	MaCoy	Guilford Press
P08 Estimación de área mediante el sensoramiento remoto	Este libro provee guía en métodos Ground Truth utilizados en las aplicaciones de sensoramiento remoto. Incluye explicaciones detalladas en planeamiento de proyectos, métodos de muestreo, pasos para la identificación de ubicaciones en campo usando GPS y varios métodos de medición. En particular, las explicaciones sobre los métodos de medición de vegetación, identificación y medida de características variadas en superficie y los formatos de campo respectivos serán de gran ayuda a aquellos que conduzcan estudios de campo para la REDD-plus. Este libro sera de mayor beneficio para aquellos que tienen ya algunos conocimientos en sensoramiento remoto pero poco conocimiento práctico sobre Ground Truth.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
Book available for purchase ISBN978-1593850791					

Capítulo 5 : Monitoreo mediante el método de diferencia de reservas

No.25	Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects	EN	2008	Revindranath et al.	Springer
P04-P10	Este manual sobre el desarrollo de inventarios de carbono en bosques fue escrito por dos expertos en este tema, el primero ha estado involucrado en la preparación de la guía de la IPCC. El manual incluye explicaciones detalladas sobre los temas presentados en el Libro de Recetas (P04-P10). En particular en este texto se describen métodos para medir los reservorios de carbono que no están cubiertos en detalle por nuestro Cookbook: biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo. Este libro es altamente recomendado para los planeadores de inventarios de carbono y personas que podrían conducir estudios de campo. Éste libro debería ser un libro que acompañe a nuestro Libro de Recetas.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
Book available for purchase ISBN 978-1-4020-6546-0					

No.26	Tropical Forest Census Plots	EN	1998	Condit	Springer-Verlag
P10 Método de la parcela permanente de muestreo	Este libro brinda una información detallada acerca de métodos para establecer parcelas para estudios ecológicos a gran escala en bosques tropicales. Incluye una descripción amplia de los requisitos de las parcelas permanentes de muestreo (PSPs) presentadas en el Libro de Recetas, y provee de consejos para conducir estudios de parcelas incluyendo métodos de estudio en campo y desarrollo de una base de datos, maneras de tratar con problemas que pueden surgir durante un estudio, y el planeamiento junto con la estimación del trabajo que se debe invertir para el estudio. También incluye estudio de casos sobre investigaciones en la isla de Barro Colorado (Panamá) y otros 11 lugares en el mundo donde se tienen áreas de bosque de gran extensión. Esta guía sería de mucha utilidad para planeadores involucrados en el diseño de parcelas y para aquellos que deseen conducir estudios de campo.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
Book available for purchase ISBN 978-3-540-64144-5					

No.27	Winrock Terrestrial Sampling Calculator	EN	2007	Walker et al.	Winrock International
P10 Método de la parcela permanente de muestreo	Esta herramienta en Excel calcula el número de PSPs necesarias por tipo de bosque, basándose en el Muestreo Estratificado (presentado en T12 del Libro de Recetas). El usuario ingresa el área de cada tipo de bosque, las reservas de carbono por unidad de área, junto con la desviación estándar, el tamaño de la parcela y los costos (e.g, del equipo de viaje, análisis de muestra). El resultado es un estimado del número de parcelas requeridas y un estimado de los costos de la conducción de un muestreo. Ésta es una herramienta útil para obtener un estimado rápido del número de parcelas necesarias y el costo del muestreo respectivo.				
P12 Cálculo de las emisiones y remociones de carbono					
Nacional, Subnacional, Proyecto					
http://www.winrock.org/					

No.28	2.6 Estimation of Uncertainties. In: A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals...	EN	2012	GOFC-GOLD	GOFC-GOLD Project office
P12 Cálculo de las emisiones y remociones de carbono	Este capítulo del "Libro de la GOFC-GOLD " explica cómo estimar incertidumbres en área y reservas de carbono. Incluye una explicación breve del concepto de "incertidumbres", requerimientos para la estimación de incertidumbres por área y reservas de carbono, métodos para combinar estas dos incertidumbres y también la incertidumbre del reporte. Figuras didácticas y cuadros hacen del material uno muy fácil de entender. También contiene muchas referencias útiles para profundizar en la lectura. Este capítulo será de beneficio no sólo para aquellos que deseen ir más allá de las explicaciones dadas en el Libro de Recetas, sino también para aquellos que están aprendiendo los conceptos básicos relacionados a las incertidumbres y a la combinación de incertidumbres.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.gofcgold.wur.nl/redd					

No.29	Guidelines for REDD+ Reference Levels: Principles and Recommendations	EN	2011	Angelsen et al.	Meridian Institute, The Gov. of Norway
P13 Nivel de emisión de referencia y nivel de referencia	Este reporte de 20 páginas propone guías para el desarrollo de niveles de referencia bajo la UNFCCC. Cubre el tema de la selección de datos de actividades y factores de emisión para el desarrollo de niveles de referencia y métodos para analizar los datos correspondientes. También presenta las ideas básicas y puntos a considerar cuando se abordan circunstancias nacionales y el establecimiento de niveles de referencia a nivel sub-nacional. El apéndice 2 contiene ejemplos de desarrollo de niveles de referencia en Brasil y Guyana. Este reporte será de utilidad a los formuladores de políticas y a aquellos que deseen entender la teoría que involucra el desarrollo de niveles de referencia a nivel nacional con ejemplos prácticos.				
Nacional, Sub-nacional, Proyecto					
http://www.forestcarbonportal.com/resource/guidelines-redd-reference-levels-principles--and-recomendations					

Índice

AFOLU	I04, P04, T04	UNFCCC	I01, I02, I03, I04
Cámara GPS	T08		P01, P02, P03, P04
CDM (Mecanismo de Desarrollo Limpio)			P05, P06, P13, T04
	I02, I03, P04, P05, P06, T04	UN-REDD (ONU-REDD)	I01, P02, P03
CER (Reducción Certificada de Emisiones)		VCS (Estándar Voluntario de Carbono)	
	T04		I01, I03, P06, T04
COP13	I01, I02, I03, P01, P02	VCU (Unidades de Carbono Verificadas)	
COP15	I01, I02, P13		T04
COP16	I01, I02, P03, P05, P13	VER (Reducción Verificada de Emisión)	
COP17	I01, I02, P03, P05, P13		I04, T04
DSM (modelo superficial digital)		Acuerdo de Copenhagen	I01, I03
	T05, T16	Acuerdo de Marrakesh	P01
DTM (modelo digital del terreno)	T05	altura del estrato superior	P07, P09
Emisión de CO ₂	I01, I02, P04, P13, T04		P11, T15, T16
FAO	I01, I02, P10, T09, T11	área basal	T14, T16
GOFC-GOLD	T11	área de bosque	I02, I03, I04
GPG	P05, P06		P01, P04, P07, T03
GPS	T05, T08, T13	bambú	P11, T13, T16, T17
Guía del IPCC	I01, I02, I03	biodiversidad	I01, I02, P01
	I04, P05, P06, P07		P03, P06, T01
IPCC	I01, P04, P06, P07, T02, T14	biomasa aérea	P04, P11, T02
J-VER	T04		T03, T14, T16, T19
Landsat	P08, T05, T06, T09, T11, T19	biomasa subterránea	P04
LiDAR	P08, P11, T05, T16		T02, T14
LULUCF	P02, P05, P06	cambio de área	I03, P04
MRV	I01, I02, I03, P02		P07, P08, T11
	P05, P06, P11, P13	caucho	P11, T13, T18
NFI (Inventario Forestal Nacional)		circunferencia a altura de pecho	T13
	I04, P10, T01, T03	clase	P08, T07, T08, T09, T10, T11
REDD-plus	I01, I02, I03, I04, P01	Clasificación basada en objetos	
	P02, P03, P04, P05, P06		P08, T09, T11
	P11, P13, T02, T03, T04, T13	Clasificación no supervisada	P08, T09
SAR	P07, P08, P09, P11, T05, T19	Clasificación supervisada	P08, T09
SBSTA (Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico)	I01, I02, I03, P13	cluster	P08, T01, T09
		cobertura de copa	I02, P01

cobertura de suelo	P07, P08, T05 T06, T07, T08, T09, T10, T11	diámetro de copa	P07, P09 P11, T15, T17
coeficiente de retrodispersión	P07 P09, P11, T19	diseño de muestreo	P07, T01, T10, T15
coeficiente kappa	P08, T10	ecuación alométrica	P10, T13, T14, T16
comparabilidad	I03, I04, P05	edad de la comunidad	P07, P09 P11, T15, T18
condición de superficie de suelo	P11	en base a objetos	T11
Conferencia de las Partes	I04, P05	enfoque por fases	I01, I02, I03 I04, P02, P04
conservación del bosque	I01, I02 P06, T04	Edad de la comunidad	P07, P11, T18
consistencia	I03, I04, P05	enfoque por fases	I01, I02, I03 I04 P02, P04, P13
construcción de capacidades	I02, I03 I04, P02, P04, P13	estacionalidad	T06
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)	I01	estimación de área	P07, P08
corrección atmosférica	P08	estimación del área de bosque	P08, T11
corte y quema	P11, T18, T19	estudio de campo/mediciones	I01 I02, I04, P04, P07
crédito (créditos)	I01, I02, I03, I04, P03 P04, P06, P12, P13, T04		P08, P10, P11, T03, T08 T13, T15, T16, T18, T19
crédito de carbono	I02, I03, P06 P12, P13, T04	evaluación de la precisión	T10
Crédito de Reducción Verificada de Emisiones	I04	Evaluación de Recursos Forestales Mundiales (FRA)	I02, T09, T11
curva de altura del árbol	T13, T17	factor de expansión de biomasa	P10, T14
datos de sensoramiento remoto	P07 P08, P10, T07, T08, T15, T16, T17	FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)	I01
datos de verificación	P08	Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF)	I01, P02, P03
deforestación	I01, I02, I04, P01, P02 P06, P09, P11, P13, T05, T19	gas de efecto invernadero	I01, I02 I03, I04, P04, P05, P06, T02
degradación del bosque	I01, I02, I04 P01, P02, P03, P06, P09 P11, P13, T05, T12, T18	ground truth	P08, T08, T09, T10
diámetro a altura de pecho (DAP)	P10 T01, T13, T14, T17	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)	I01

imagen libre de nubes	P08, T06	P11, T18
incertidumbre	I03, P04, P06 P07, P12, T10	Método de pérdidas y ganancias P04, P07
integridad	I03, I04, P04, P05	Método del diámetro de copa
Interferometría polarimétrica SAR (PollnSAR)	P11	P11, T17
Inventario	I01, I03, I04, P04, P05, P06 P07, P09, P10, P11, T01, T10, T13	microonda P11, T05, T19 modalidad/modalidades I01, I03 P05, P06, P13
inventario forestal	P11, T13 T14, T15, T18	modelo de estimación P07, P09 P11, T03, T19
Inventario Forestal Nacional	I04, P09 P10, T01, T03, T10, T13	modelo de estimación de reservas de carbono de masas forestales P07, P09, P11
Inventario nacional de gases de efecto invernadero	I03, I04, P06	monitoreo del bosque I01, I02 I03, I04
LiDAR aéreo	P11, T05, T16	muestreo doble T15
LiDAR satelital	T16	muestreo estratificado P08, P10 T08, T10, T12
manejo sostenible	I01, I02, P01	niebla T05, T06
Mecanismo de Compensación de Crédito Bilateral (BOCM)	I01, I04, T04	nivel de emisión de referencia I01
mecanismo de crédito	I03, T04	Mecanismo de Desarrollo Limpio I02, I04
Medición, Reporte y Verificación	I01 I02, I03, P02, P11	nivel de proyecto I01, I02, I03 I04, P05, P06
mediciones	I01, I02, I03, I04 P02, P04, P06, P07 P09, P10, P11, P12 P13, T01, T02, T05, T08 T13, T15, T16, T17, T19	Nivel de referencia I01, I02, I04 P02, P06, P12, P13
método de diferencia de reservas	P04 P07, P09, P12, T02	nivel nacional I02, I03, I04 P05, P07, P08, P09, P10 P13, T04, T12, T14, T18
Método de flujos	T02	nivel sub-nacional I01, I02, I03, I04 P02, P06, P07, P13, T04, T18
Método de la altura del estrato superior	P11, T16	ondas cruz-polarizadas (HV, VH) T19 ondas cuasi-polarizadas T19
Método de la edad de la comunidad		Organización Internacional de Estándares (ISO) P06
		palma aceitera T13, T18 parámetro P05, P06, P07, P09

	P11, T01, T09, T15, T16	reserva de carbono	I01, I02, I03, P01
parcela permanente de muestreo			P04, P07, P09, P10, P11
	P07, P09, P10, P11, T03		P12, P13, T01, T02, T03, T12
	T12, T13, T14, T15, T17		T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19
píxel	P08, T09, T10, T11, T19	resolución de longitud de onda	T03, T05
planificación del bosque	P02	resolución espacial	T05, T07
plataforma	T05	resolución temporal	P08, T05
precisión	I03, P05	Responsabilidad Social Corporativa (CSR)	
precisión del productor	P08, T10		T04
precisión del usuario	P08, T10	ruido granular	T19
precisión global	P08, T10	salvaguardas	I01, I02, I03
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)	I01		I04, P02, P03, P06
Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP)	I01	salvaguarda ambiental	P03
Protocolo de Kyoto	I01, I02, P01	salvaguarda social	P03
	P02, P05, T04	sensor	P08, P11, T03, T05
pulso láser	T05		T15, T16, T17, T19
Radar de Apertura Sintética (SAR)	P07	sensor estereoscópico / imágenes (información)	P11, T16
	P08, P11, T05, T19	sensor óptico	P08, P11, T03, T05, T16
raíz tabular	T13	sensoramiento remoto	I01, I02, I04
reducción de la emisión	I02, I03, I04		P04, P06, P07, P08
	P01, P02, P05, P06, T04		P10, P11, P13, T03
reflexión múltiple	P11		T05, T07, T09, T10, T11
registro/corrección geométrica	P08		T13, T15, T16, T17, T19
	T11, T17	Sistema de monitoreo forestal nacional	
remoción de nubes	T06		I01, I02, I04
reportel	I01, I02, I03	software	P08, P12, T05
	I04, P02, P05, P11	tala ilegal	I02
Reporte de Inventario Nacional (NIR)		tipo de bosque	I04, P04, P07, P08, P09
	P05		P10, P11, P12, T04, T05, T06
Reporte de la Cuarta Evaluación (AR4)	I01	transparencia	T07, T12, T14, T16, T17, T19
	I01	uso de suelo	I02, I03, I04, P05, P13
Reporte de la Tercera Evaluación (TAR)			I01, I02, I03, I04
	I01		P02, P04, P07, P09, P11
			P13, T04, T09, T12, T13, T18

Autores

Shinichi Aikawa ¹⁾	Guía de Referencia	Kei Suzuki ⁶⁾	Receta T03
Satoshi Akahori ⁵⁾	Receta P02	Gen Takao ¹⁾	Receta I04, P04, T10, T15
Yoshio Awaya ²⁾	Receta T19	Shinya Tanaka ¹⁾	Receta T09
Makoto Ehara ¹⁾	Receta P03, Guía de Referencia	Takeshi Toma ¹⁾	Receta P01, T03, Guía de Referencia
Yasumasa Hirata ¹⁾	Receta I02, P13	Jumpei Toriyama ¹⁾	Receta P12, T02
Naoyuki Furuya ¹⁾	Receta T17	Naoko Tsukada ¹⁾	Receta P05, P06
Kimihiko Hyakumura ³⁾	Receta P03	Satoshi Tsuyuki ⁴⁾	Receta T05
Toshiro Iehara ¹⁾	Receta T01	Mitsuo Matsumoto ¹⁾	Receta I01, T04
Eriko Ito ¹⁾	Receta P11, T16	Toshiya Matsuura ¹⁾	Receta T08
Tsuyosi Kajisa ³⁾	Receta T11	Nobuya Mizoue ³⁾	Receta P10, T12
Satoko Kawarasaki ¹⁾	Guía de Referencia	Yukako Monda ¹⁾	Receta P09, T14
Yoshiyuki Kiyono ¹⁾	Receta I03	Tetsushi Ohta ³⁾	Receta T07
Hideki Saito ¹⁾	Receta P08, T06	Yasuhiro Yokota ¹⁾	Receta P03
Akinobu Sato ⁶⁾	Receta T03		
Tamotsu Sato ¹⁾	Receta P07, T13, T18		

Traducción

Luis Alberto Vega Isuhuaylas ¹⁾ • Larissa Karina Rejalaga Noguera ⁷⁾ • Shin Muraoka

1) Instituto de Investigación en Forestería y Productos Forestales, Japón

2) Universidad de Gifu, Japón

3) Universidad de Kyusyu, Japón

4) Universidad de Tokyo, Japón

5) Agencia de Forestería, Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca, Japón

6) Asociación Japonesa de Tecnología de Bosques

7) Universidad Nacional de Asunción / Facultad de Ciencias Agrarias

Editores

Yasumasa Hirata • Gen Takao • Tamotsu Sato • Jumpei Toriyama

Equipo de Edición

Makoto Araki • Yasumasa Hirata • Gen Takao • Tamotsu Sato

Jumpei Toriyama • Naoko Tsukada • Tomomi Fukumi • Atsuko Naka

Citación

Este documento puede ser citado como:

Hirata Y, Takao G, Sato T, Toriyama J (eds) (2012) Libro de Recetas de la REDD-plus. Centro de Investigación y Desarrollo REDD, Instituto de Investigación en Forestería y Productos Forestales, Japón, 156pp. ISBN 978-4-905304-15-9

Una copia digital puede ser descargada en

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/en/reference/cookbook.html>



Forestry and Forest Products Research Institute
1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN
REDD Research and Development Center
TEL: +81-29-829-8365 FAX: +81-29-829-8366
URL: <http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/index.html>
E-mail: [redd-rd-center@ffpri.affrc.go.jp](mailto:red-d-center@ffpri.affrc.go.jp)