

Estimación de los costos de oportunidad de REDD+ Manual de capacitación

Versión 1.4

Capítulo 4. Uso la tierra suelo y cambio en el uso de la tierra

Objetivos

Mostrar cómo:

1. Desarrollar un marco y una leyenda nacionales del uso de la tierra,
2. Crear mapas de uso de la tierra,
3. Validar mapas de uso de la tierra,
4. Calcular el cambio en el uso de la tierra,
5. Explicar el cambio en el uso de la tierra.

Contenidos

Objetivos	1
Introducción	2
Análisis espacial y términos de teledetección	2
Identificación de uso de la tierra.....	3
Cálculo del cambio en el uso de la tierra.....	22
Explicación del cambio en el uso de la tierra	25
Predicción de cambios en el uso de la tierra	33
Referencias y lectura complementaria	35



Introducción

1. En este capítulo se describe la forma de clasificar los usos de la tierra, de calcular y explicar los cambios en el uso de la tierra, brindando mediante ello información esencial para el análisis del costo de oportunidad. El enfoque se basa en la identificación de diferentes sistemas de uso de la tierra comunes dentro de un país. Estos sistemas de uso de la tierra van desde bosques hasta la agricultura, los pastizales y las áreas urbanas.

2. Se presentan una serie de pasos para generar mapas de uso de la tierra y evaluar el cambio en el uso de la tierra. Adicionalmente, en el presente capítulo se explica la forma de adquirir, organizar, y clasificar datos de teledetección y de validar la precisión de los mapas derivados. El enfoque descrito en este módulo se basa en gran medida en el libro de referencia GOF-C-GOLD REDD, en el cual se deberán consultar las pautas en profundidad sobre el uso de la tierra y el mapeo de la cobertura terrestre (GOF-C-GOLD, 2009). El presente capítulo indica a los profesionales fuentes adicionales para obtener información técnica detallada relacionada con el desarrollo de mapas de uso de la tierra. El monitoreo de la deforestación y de las actividades de MRV debería ser coherente con otros estudios que utilicen métodos similares, independientemente de la escala y de las tecnologías de detección utilizadas. Se presentan sintéticamente diversos enfoques de generación de modelos para predecir el cambio en el uso de la tierra.

3. En síntesis, este capítulo presenta una guía para generar las siguientes producciones para el análisis de costo de oportunidad:

1. Marco de uso de la tierra y leyenda relacionada,
2. Mapas de uso de la tierra de diferentes fechas,
3. Análisis de error para evaluar la precisión de los mapas,
4. Matrices de cambio en el uso de la tierra,
5. Factores que motivan la deforestación y transiciones en el uso de la tierra
6. Predicción de los cambios en el uso de la tierra

4. El análisis del uso de la tierra tiene su propio vocabulario. Para obtener las definiciones, sírvase consultar el Glosario en el **Anexo A**

Recuadro 4-1 Análisis espacial y términos de teledetección

Cobertura terrestre	Tabla de atributos
Uso de la tierra	Resolución (Espectral / Espacial)
Sistema de uso de la tierra	Verificación de campo
Sistema de clasificación	Unidad mínima cartográfica
Leyenda de uso de la tierra	Unidad mixta cartográfica
Trayectoria de uso de la tierra	SIG Vectorial / SIG Raster

Identificación de uso de la tierra

5. Si bien la cobertura terrestre y el uso de la tierra están relacionados, no son lo mismo. Dentro de un país, relacionar las coberturas terrestres (por ejemplo, tipos de vegetación) identificadas desde imágenes satelitales, con los usos reales de la tierra en el campo, constituye uno de los mayores problemas del mapeo del uso de la tierra (Cihlar y Jansen, 2001).

6. Se necesitan expertos y especialistas en teledetección con conocimiento de campo de áreas geográficas específicas (por ejemplo, administradores de tierras, científicos y personal gubernamental) para identificar y clasificar los usos de la tierra. El equipo de análisis del costo de oportunidad debería asegurarse de que las categorías sean compatibles con las clases de coberturas terrestres monitoreadas y que sean coherentes con el contenido de carbono y con las actividades económicas.

Cobertura terrestre ≠
Uso de la tierra

7. Para permitir un uso correcto y coherente de la información sobre el uso de la tierra (por ejemplo, carbono, rendimiento neto) para el análisis del costo de oportunidad a nivel nacional, se puede emplear una **estructura jerárquica del uso de la tierra** (Figura 4.1).

Estructura nacional de uso de la tierra para REDD+

8. Un paso inicial para desarrollar una estructura nacional de uso de la tierra es identificar el estado actual del mapeo del uso de la tierra en el país. Debido a que muchos países ya cuentan con una estructura nacional de uso de la tierra, es esencial buscar bibliografía y adquirir los mapas que existen. Si las estructuras existentes no estuviesen disponibles para el proyecto de costo de oportunidad, el equipo del proyecto tendrá que mejorar tales estructuras conforme los requisitos del proyecto. La exposición que sigue sirve como guía para decidir si se utilizará y se adaptará una estructura existente o se desarrollará una nueva.

9. La consideración más importante para el desarrollo de una estructura nacional de clasificación de uso de la tierra que sea viable para un análisis de costo de oportunidad es la compatibilidad de las resoluciones en la información sobre el uso de la tierra, la información económica y sobre el carbono. Un esquema de clasificación que tenga sentido debe explicar la variación de carbono y de la rentabilidad a través del paisaje y del país. La variación es causada por muchos factores, incluyendo:

- 1) Clima agro-ecológico y/o zonas topográficas,
- 2) Suelos, deben considerarse los siguientes:
 1. Humedales, turba, manglar, suelos volcánicos con altas pérdidas potenciales de C,

2. 'suelos pobres' de baja rentabilidad pero con potencialidad de aumento de reservas de C,
- 3) Límites políticos, institucionales y de gestión (zonas agrícolas y forestales, sistemas de tenencia, etc.),
- 4) Condiciones de accesibilidad de la infraestructura de transporte (por ejemplo, caminos pavimentados, caminos de tierra, ríos, etc.),
- 5) Usos anteriores d la tierra que pueden afectar su fertilidad y el contenido de carbono.

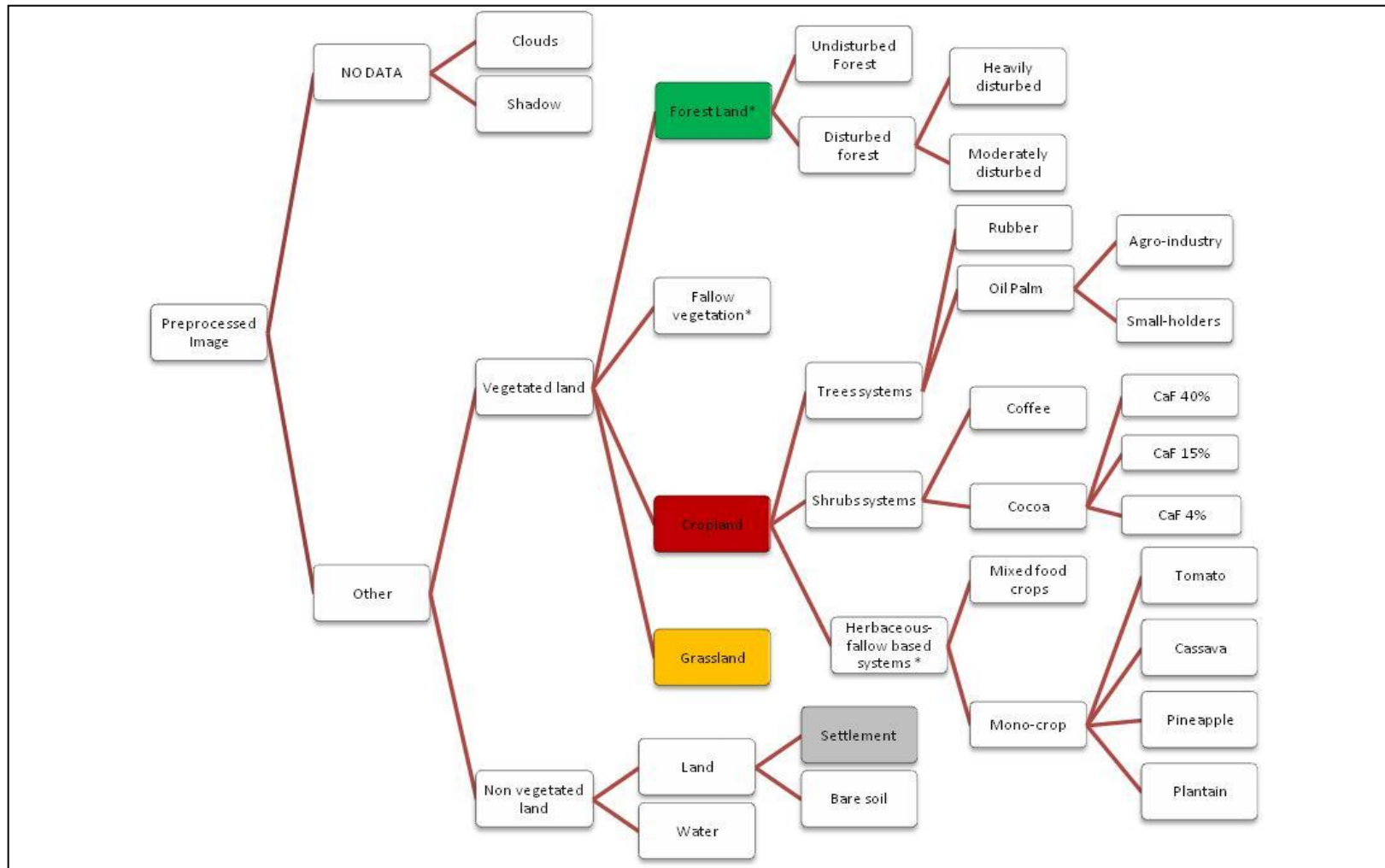


Figura 4-1 Estructura jerárquica del uso de la tierra en la zona de bosque húmedo de Camerún.¹

Fuente: Robiglio, 2010.

¹ Caf: Explotación forestal de cacao con diferentes niveles de cubierta de árboles de sombra. Las clases de bosques se definen sobre la base de los niveles de perturbaciones/degradación. Las clases pueden estar asociadas a diferentes tipos de gestión (Bosque Comunal, Bosque Municipal, Áreas Protegidas) que establezcan diferentes intensidades de tala.

10. ¿Cuántas clases de uso de la tierra? El número seleccionado de categorías de clases depende de: la disponibilidad de datos geográficos y de su análisis, la capacidad para detectar diferencias en la cobertura terrestre en imágenes de teledetección (resolución de imagen), la disponibilidad de carbono y la información sobre rentabilidad de los usos de la tierra, y el rigor deseado del análisis del costo de oportunidad. Tal variedad de factores evidencia la necesidad de un equipo multidisciplinario con una comprensión clara de los análisis de costo de oportunidad en el contexto de los programas de REDD+.

11. Si una clase de uso de la tierra no representa en forma precisa un uso de la tierra en términos de reserva de carbono o de rendimientos netos, se necesitará dividir tales usos en subclases. Las propiedades o los usos de la tierra pueden diferir dentro de la misma cobertura terrestre. Es posible que surjan diferentes niveles de rendimientos netos dentro de una clase sobre la base de su accesibilidad y su ubicación. La rentabilidad de la misma cosecha puede variar según se produzca cerca o lejos del mercado.

12. Por otra parte, es posible que sea necesario combinar clases (acumulación). Uno de los motivos es técnico. Puede que la unidad mínima de mapeo (UMM) de imágenes no sea lo suficientemente pequeña para diferenciar clases; con lo cual en ese caso se requiere una unidad mixta cartográfica. Otro motivo es la simplificación de la estructura de uso de la tierra. Un número menor de clases requiere menos gestión y análisis de datos. Además, mediante la creación de numerosas subclases a partir de una resolución inadecuada de imágenes, o de información sobre carbono o ganancias inadecuadas, puede que se genere una falsa sensación de precisión.

13. Es importante destacar que no es necesario que el nivel de detalle en un esquema de uso de la tierra sea el mismo en todo el país. Se puede utilizar un nivel mayor de detalle en unidades de superficie de particular interés, o para aprovechar mejores datos disponibles en algunas unidades de superficies. Adicionalmente, no se requiere que el nivel de detalle sea estático. A medida que se pueda acceder a información adicional, las categorías de uso de la tierra podrán dividirse en subcategorías. O bien, se pueden unir categorías previamente separadas si se concluyese que existen menos diferencias que las previstas. En este aspecto, como en muchos otros de la estimación de costos de oportunidad de REDD+, es útil considerar el trabajo más como un proceso iterativo que como una tarea única. En síntesis, las decisiones sobre la división o la acumulación de clases estará guiada por el nivel de detalle espacial en el proceso de mapeo y la disponibilidad de información complementaria sobre datos biofísicos y socio-económicos/de infraestructura o de gestión.

El esquema 4.1 muestra una clasificación de cobertura terrestre y de uso de la tierra con tres niveles de jerarquía. Este sistema de clasificación mixta fue parte de una iniciativa internacional para mapear la deforestación en los trópicos (Puig, et al., 2000; Achard, et al., 2002). El primer nivel contiene clases amplias de coberturas terrestres como bosques, agricultura y coberturas mixtas. El segundo nivel incluye tipos de coberturas terrestres más

detallados. El tercer nivel incluso es más específico, e incluye algunos tipos de suelo que son específicos de ciertas regiones subnacionales. Un cuarto nivel (no descripto) se refiere únicamente al bosque, y emplea el porcentaje de cubierta de copas como criterio de distinción. En este ejemplo, las diferencias en la cubierta de copas (cobertura terrestre) – podría usarse para detectar niveles de tala selectiva (uso de la tierra). Una vez que se ha definido la estructura, el equipo del proyecto puede enfocarse en la logística del análisis de teledetección y en la confección de mapas de cobertura terrestre y de uso de la tierra. Durante etapas posteriores del proceso de análisis, es posible que los analistas requieran efectuar una revisión más profunda de la leyenda.

Tabla 4-1 Leyenda de un sistema de clasificación jerárquica de coberturas terrestres

Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
1	Bosque	<i>> 10% cubierta de copas y > 40 % cubierta forestal *</i>			
Bosque	1	Bosque Perennifolio y Semiperennifolio	0 Desconocido 1 Perennifolio - Bosque bajo 2 Perennifolio - Bosque montano 3 Bosque subperennifolio	4 Brezal / Caatingas 5 Coníferas 6. Bosque de bambú 9 Otros	
	2	Bosque Caducifolio	0 Desconocido 1 'Bosque denso-seco' (África) 2 Miombo' (Africa)	3 Caducifolio mixto (seco) (Asia) 4 Dipterocarpácea seca (Asia) 9 Otros	
	3	Bosque Inundado	0 Desconocido 1 Inundado periódicamente – 2 Várzea Bosque pantanoso (perm. inundado)	3 Bosque pantanoso con palmeras 4 Aguaj. 9 Bosque de pantanos de turba Otros	
	4	Bosque ripario	0		
	5	Plantación	0 Desconocido 1 Teca 2 Pino	3 Eucalipto 9 Otro	
	6	Rebrote de bosque	0		
	7	Manglar	0		
9	Otro	0			
2	Mosaico	<i>>10% - 40 % cubierta forestal (y > 10% cubierta de copas)</i>			
Mosaico	1	Rotación de cultivos	0 Indefinido 1 ≤ 1/3 cosecha 2 > 1/3 cosecha		
	2	Tierras Agrícolas y Bosque			
	3	Otra Vegetación y Bosque			
	9	Otro			
3	Vegetación Natural No Forestal	<i>≤ 10% cubierta forestal o < 10% cubierta de copas</i>			
Vegetación Natural No Forestal	1	Madera y matorral	0 Desconocido 1 Savana arbolada – Cerrado] 2 Savana arbórea 3 Savana arbustiva 4 Bambú (rodales puros)	5 Savana pantanosa 6 Tipo húmedo (perennifolia) (Asia) 7 Tipo seco (savana) (Asia) 9 Otro	
	2	Pastizal	0 Desconocido 1 Pastizal seco 2 Pastizal pantanoso –várzea 9 Otro		
	3	Rebrote de vegetación			
	9	Otro			
4	Agricultura	<i>≤ 10% cubierta forestal ≤ 10% cubierta de copas</i>			
Agri- cultura	1	Cultivable	0 Desconocido, 1 Irrigado, 2 De temporal		
	2	Plantaciones	0 Desconocido 1 Caucho 2 Palma aceitera	3 Café, Cacao, Coca 9 Otros	
	3	Ganadería			
	4	Pequeños productores			
	9	Otros			

5	Sin vegetación		
Sin vegetación	1	Urbano	
	2	Caminos	
	3	Infraestructura	1 Minería, 2 Hidroeléctrica, 9 otros
	4	Suelo descubierto	
	9	Otro	
6	Agua		
Agua	1	Río	
	2	Lago	1 Natural, 2 Artificial
7	Mar		
8	No visible		
No visible	1	Nubes	
	2	Sombra	
9	Sin datos		

Fuente: Puig et al., 2000

14. La leyenda de uso de la tierra es la clave de mapeo que expresa cada clase con un color o trama diferente en el mapa. En este manual, las clases y subclases en una leyenda de cobertura terrestre se corresponden con los uso de la tierra. Consecuentemente, al final del proceso de clasificación, la estructura jerárquica de uso de la tierra abarca desde las clases globales generales de cobertura terrestre hasta las clases locales de uso de la tierra. La leyenda del uso de la tierra constituye la base para identificar las coberturas terrestres y para el mapeo de los uso de la tierra.

15. La leyenda del uso de la tierra debe coincidir con la leyenda de cobertura terrestre que mejor cumpla con las mejores prácticas de mapeo, y con los criterios adicionales de compatibilidad con una iniciativa de REDD (Cihlar y Jansen, 2001; GOF-C-GOLD, 2005; Herold et al., 2006; IPCC, 2006; Herold y Johns, 2007). Uno de los mejores recursos para el desarrollo de la leyenda es el Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre² (SCCT; Di Gregorio, 2005). El SCCT incluye una descripción exhaustiva de los conceptos y las directivas de clasificación para que los tipos de cobertura terrestre se ajusten a las normas internacionales.

Pasos para identificar los uso de la tierra

- *Consultar la bibliografía.* Cihlar y Jansen (2001) brindan un panorama general sobre cómo corresponder las coberturas terrestres con los uso de la tierra. Los casos de estudio del Líbano y de Kenia son ejemplos prácticos (Jansen y Di Gregorio, 2003; Jansen y Di Gregorio, 2004)
- *Verificar la disponibilidad de mapas:* La revisión de los análisis previos del uso de la tierra es una tarea inicial importante. Es posible que los mapas disponibles de cobertura terrestre y de uso de la tierra sólo necesiten modificaciones menores para su uso en un análisis de costo de oportunidad. Por ejemplo, los mapas existentes de cobertura terrestre y de uso de la tierra

² El manual y el software de SCCT puede adquirirse en el sitio de Internet de la Red Global de Cobertura Terrestre (<http://www.glcn.org/>).

pueden ser aptos para desarrollar una leyenda del uso de la tierra para los análisis de costo de oportunidad de menor rigor (Niveles 1, 2).

- *Desarrollar reglas de decisión para convertir las clases de cobertura terrestre a uso de la tierra.* Las reglas se basarán mayormente en conocimientos de expertos locales. Por ejemplo, las parcelas pequeñas de bosques y las áreas despejadas (cobertura terrestre) que se muestran en los datos de teledetección indican rotación de cultivos (uso de la tierra). Estas reglas de decisiones deberían incorporarse en un cuadro como referencia.
- *Recolectar información sobre uso de la tierra durante las actividades de trabajo de campo.* Una presunción del análisis es que todas las clases de cobertura terrestre pueden combinarse con todos los uso de la tierra. El trabajo de campo debería confirmar y validar las reglas de correspondencia entre la cobertura terrestre y los uso de la tierra.
- *Confirmar los datos sobre cobertura terrestre y uso de la tierra.* Las actividades de monitoreo, reporte y verificación (MRV) constituyen una oportunidad para confirmar la correspondencia entre la cobertura terrestre y el uso de la tierra.
- *Considerar la resolución de las imágenes cuando se desarrolle la leyenda del uso de la tierra:* Es posible que uso de la tierra diferentes se vean iguales en una imagen satelital (por ejemplo, agricultura intensiva o extensiva o el grado de degradación forestal). Las unidades cartográficas combinadas se utilizan cuando los elementos que componen una unidad cartográfica son demasiado pequeños como para ser delineados en forma independiente.

Recuadro 4-1 Administración de datos y análisis

El análisis del cambio en los uso de la tierra requiere una administración cuidadosa de los datos. Los principios de administración de datos de un análisis de costo de oportunidad son similares a aquellos para las actividades de REDD, tales como monitoreo, reporte y verificación (MRV) de los datos de reserva de carbono. El desarrollo de un sistema de administración de datos y análisis descrito anteriormente requiere una inversión sustancial. Los costos dependerán del tamaño del país, la especialización existente, los recursos y otros factores. Por ejemplo, para diseñar un sistema de MRV a nivel nacional– lo que se encuentra fuera del ámbito normal de un análisis de costo de oportunidad – Herold y Johns (2007) calcularon un costo entre varios cientos de miles de dólares y U\$2 millones. Debido a estos altos costos, el equipo nacional que realice un análisis de costo de oportunidad tendrá incentivo para colaborar con el trabajo y la especialización existentes, y para trabajar a partir de ellos. Si su país cuenta con un sistema de MRV, puede que toda o la mayor parte de la información necesaria para el análisis esté disponible.

Los países que no cuentan con sistemas de MRV necesitarán identificar a expertos que cuenten con recursos para poder realizar el análisis de modificación de uso de la tierra y desarrollar un sistema sólido de información para analizar los costos de oportunidad. Si Usted tuviese que desarrollar un sistema de información para la evaluación del cambio en el uso de la tierra de un análisis de costo de oportunidad desde cero, se necesitarán cinco

elementos: recursos humanos, datos y documentación, métodos analíticos, hardware y software.

- 1) **Recursos humanos** Se necesitarán expertos en teledetección y en la ciencia y la tecnología de sistemas de información geográfica (SIG). Los expertos en teledetección deberían tener experiencia previa en la producción de mapas de uso de la tierra y de cobertura terrestre. Los expertos deberían conocer cómo procesar preliminarmente los datos para su posterior clasificación y análisis, incluyendo el conocimiento de coordenadas y la inscripción de datos. Los especialistas idealmente deberían tener experiencia en la interpretación visual de imágenes, en el procesamiento de imágenes digitales, en la clasificación supervisada y no supervisada y en la segmentación de imágenes. Los expertos deberían saber cómo realizar trabajo de campo con sistemas de posicionamiento global y fotografía digital. El personal normalmente deberá tener una maestría o experiencia equivalente en campos que utilizan la teledetección y los métodos SIG.
- 2) **Datos y documentación:** Deberá prepararse un inventario de los datos necesarios, para determinar la viabilidad de adquirir imágenes, y si se necesitará efectuar gastos adicionales. Si todavía no se ha establecido una actividad nacional de la actividad de MIV o si ningún dato de teledetección ni ninguna información sobre cobertura terrestre estuviese disponible, deberán considerarse los costos (tiempo y dinero) que conlleve adquirir los datos y el análisis de los mismos. La documentación de datos, métodos y resultados de cualquier análisis de costo de oportunidad es de alta prioridad. Se necesita el contexto y la descripción de los datos (o metadatos), especialmente considerando que el análisis requiere la participación y la contribución de muchos tipos de especialización científica y los participantes pueden cambiar con el tiempo. La documentación permite repetir el análisis y cumplir con estándares de calidad de revisión por pares. El IPCC (2006) u otras normas internacionales pueden servir como directivas. A los fines de la teledetección y los datos espaciales, una iniciativa nacional debería producir metadatos que cumplan con los estándares de la **Organización Internacional de Normalización** (ISO, por sus siglas en inglés) o del **Comité Federal de Datos Geográficos de los Estados Unidos (CFDG)**. Junto a cualquier esfuerzo nacional para desarrollar una infraestructura nacional de datos espaciales (INDE), debería alinearse un análisis de costo de oportunidad o una iniciativa de REDD. Puede obtenerse más información sobre metadatos geoespaciales a través de la **Infraestructura Global de Datos Espaciales (IGDE)**.
- 3) **Métodos analíticos:** La complejidad y el nivel pretendido de análisis determinarán los métodos analíticos a emplearse. Cualquier país puede obtener provecho de un SIG extensivo y de la bibliografía sobre teledetección.
- 4) **Hardware:** la capacidad requerida del hardware del ordenador también dependerá del rigor del análisis. Los ordenadores personales con discos duros grandes y memoria suficiente (es decir, RAM) normalmente serán suficientes.

5) Las opciones de **software** para el análisis del uso de la tierra pueden ser fuentes abiertas disponibles libremente o patentadas, incluyendo: Google Earth, GRASS (<http://grass.itc.it/>), SPRING (Camara, et al. 1996), ILWIS (<http://www.ilwis.org/>), IDRISI de bajo costo (Eastman, 2009), ArcGIS del Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (IISA) y otros paquetes de software. Debe tenerse en consideración la capacidad del software para identificar características apropiadas. Por ejemplo, los algoritmos de interpretación de imágenes ¿funcionan bien en contextos tropicales?

Creación de mapas de uso de la tierra

16. Este apartado presenta un panorama general de las técnicas de teledetección (TD) y de los desafíos relacionados en el desarrollo de mapas de uso de la tierra para el análisis del costo de oportunidad. En la Orientación de Buena Práctica del IPCC y en el Libro de Consulta de GOFC-GOLD REDD (IPCC, 2006; GOFC-GOLD, 2009) puede encontrarse un uso extensivo de las herramientas para el cálculo, la contabilización y el informe sobre la cobertura terrestre y las reservas de carbono.

Datos de teledetección

17. La información de teledetección proviene de diferentes fuentes, cada una de ellas con resolución, frecuencia (es decir, ciclo de órbita) y costo únicos (Tabla 4.2). Para adquirir datos de teledetección, resultan de utilidad dos sitios de Internet: el sitio de Internet GLOVIS de Investigación Geológica de los Estados Unidos (<http://glovis.usgs.gov/>) y el Instituto de Cobertura Terrestre de la Universidad de Maryland (<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>). Se aconseja a los especialistas en teledetección consultar el Libro de Consulta GOFC-GOLD (2009) para obtener una exposición completa de las consideraciones relacionadas con la selección de imágenes de teledetección.

Tabla 4-2 Características de las imágenes satelitales

Satélite	Sensor	Resolución (Espacial)	Ciclo de órbita	Costo de imagen
TERRA	MODIS	250 m	2 días	Bajo
		500 m		
		1000m		
LANDSAT 7	ETM+	15 m (185 km)	16 días	Intermedio
		30 m (185 km)		
DMC II		32 m (80x80 km)	1 día	Intermedio
SPOT 1-3	XS	20 m (60x60 km)	26 días	Intermedio
	PAN	10 m (60x60 km)		
SPOT 4	XS	20 m (60x60 km)	26 días	Intermedio
	PAN	10 m (60x60 km)		
	VGT	1 (2000 km)		
SPOT 5	HRS	10 m (60x60 km)	26 días	Intermedio
	HRG	5 m (60x60 km)		
TERRA	ASTER	15 m		Intermedio
		30 m		
IRS-C	Pan	5.8 m (70 km)	24 días	Intermedio
	LISS-III	23 m (142 km)		
IKONOS	PAN	1 m (min10 x 10 km)	3 días	Ato
	MS	4 m (min10 x 10 km)		
QUICKBIRD		2.5 m (22x22 km)	3 días	Alto
		61 cm (22x22 km)		
ALOS	PRISM	2.5 m (70 km)	46 días	High
	AVNIR2	10 m (70 km)		
	PALSAR	10 m (70km)		

Fuente: Adaptado de GOF-C-GOLD, 2010.

18. Una opción de datos satelitales son las imágenes de alta resolución tales como IKONOS y Quickbird. No obstante, tales datos de teledetección se vuelven más costosos con unidades mínimas de mapeo (UMM) menores y requieren una potencia informática importante para poder administrar grandes cantidades de píxeles pequeños. Adicionalmente, la cobertura geográfica de imágenes de alta resolución es limitada, especialmente en muchas áreas de los trópicos.

19. En cambio, las imágenes de baja resolución (UMM grandes) se encuentran ampliamente disponibles a un bajo costo. Por ejemplo, las imágenes MODIS tienen una resolución espacial

de 250m y pueden descargarse libremente desde Internet. Sin embargo, la baja resolución dificulta la distinción de clases. Este problema se agrava en los trópicos húmedos, donde los paisajes a menudo contienen parcelas agrícolas pequeñas. (Fotografía 4.2).



Figura 4-2 Un paisaje agrario espacialmente heterogéneo en Camerún.

Fuente: Robiglio, 2009.

20. Las imágenes de resolución mediana como Landsat y Aster representan una proporción atractiva entre resolución y costo (Figura 4.3). Una ventaja importante de Landsat es la disponibilidad de imágenes más antiguas para establecer una línea de base para determinar los índices de deforestación de mediano plazo. No obstante, Landsat 7 tiene un error en el sensor que limita seriamente el uso de imágenes desde 2003. Por ello, el analista debería considerar sensores alternativos para superar los vacíos en imágenes recientes.

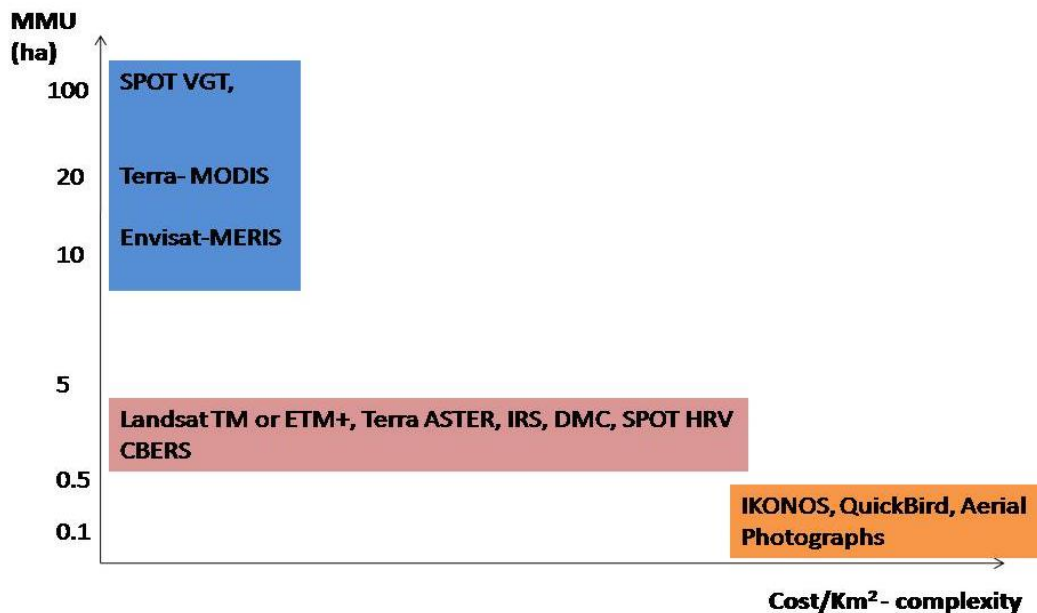


Figura 4-3 Imágenes de teledetección: costo y complejidad versus resolución (UMM)

Fuente: Autores

21. Las opciones de datos de teledetección descritas anteriormente constituyen alternativas estándar. Sin embargo, es posible que los cálculos de uso de la tierra y de reservas de carbono puedan aprovechar los nuevos métodos y enfoques de monitoreo y medición de la deforestación, la degradación de los bosques y los cambios en el uso de la tierra (ver explicación sobre LIDAR en el Recuadro 4.4, más adelante). Los analistas pueden considerar estos nuevos enfoques, a medida que se aprueben y se acepten.

Recuadro 4-2 Cálculo de reservas de carbono a partir de mapas de biomasa versus mapas de uso de la tierra

Las imágenes de teledetección pueden ser útiles para calcular el carbono en la biomasa y para comprender la distribución geográfica del carbono en un paisaje (Baccini, 2004; Foody, et al. 2003, Goetz et al. 2009). Por ejemplo, Saatchi et al. (2007) calcularon un total de carbono de 86 Pg C de su cálculo de teledetección de la biomasa aérea viva en el Amazonas. Los niveles de biomasa variaron durante la estación seca y en todo el paisaje.

Los cálculos de biomasa son menos relevantes para calcular el costo de oportunidad de la deforestación evitada. Las estimaciones de los costos de oportunidad requieren información sobre los usos de la tierra con contenido de C asociado (ver Capítulo 5) y medidas de rentabilidad. Los valores actuales netos de las actividades económicas sólo pueden ser calculados a partir del uso de la tierra.

Análisis de imagen

22. El reconocimiento remoto requiere un procesamiento previo de las imágenes satelitales. Tal trabajo con frecuencia incluye georreferenciación de imágenes y corrección radiométrica

para explicar las distorsiones atmosféricas. No obstante, muchos proveedores de teledetección entregan imágenes satelitales que ya han sido previamente procesadas. Los métodos estándares para realizar el procesamiento previo se encuentran disponibles en la bibliografía sobre teledetección (ver, a modo de ejemplo, Jensen, 1995; Lillesand y Kiefer, 2000).

23. En general, para interpretar las imágenes de teledetección se encuentran disponibles tres métodos: (1) interpretación visual, (2) procesamiento digital de imágenes basado en píxeles, y (3) segmentación de imagen. Al día hoy no existe consenso en la bibliografía de REDD respecto del mejor método. La selección del método de interpretación puede depender de las capacidades nacionales en recursos humanos, de los costos relativos de los diferentes métodos y de las características y el tamaño de la unidad de superficie.

1. *Interpretación visual.* Los analistas trazan polígonos alrededor de las diferencias visibles en las imágenes satelitales en la pantalla de sus ordenadores (Puig et al., 2002). Los polígonos se relacionan con una clase de leyenda de la cobertura terrestre. Una ventaja de este método es la posibilidad de actualizar las imágenes recientes utilizando el mapa base desde una fecha inicial. Una desventaja lo constituye el hecho de que este método es más subjetivo que otros, y depende del criterio del analista. Adicionalmente, para países grandes la interpretación visual puede no ser práctica y requerir demasiado tiempo.

2. *Procesamiento digital de imágenes a nivel de píxeles.* Los algoritmos informáticos se utilizan para realizar clasificaciones no supervisadas y supervisadas. En el pasado, la mayor parte del procesamiento de imágenes digitales se realizó a nivel de píxeles (Jensen, 1995). Cada píxel es considerado una unidad de suelo y se agrega a grupos de píxeles similares. El agrupamiento puede basarse únicamente en el número digital del píxel; dicho método ha sido denominado “clasificación no supervisada”. Sin embargo, con la clasificación supervisada, un analista asigna píxeles que representan una cobertura terrestre, a una clase en la leyenda. Este segundo método depende del conocimiento que tenga el analista de la unidad de superficie de estudio. En comparación con la interpretación visual, el procesamiento de imágenes digitales es más objetivo, porque depende de algoritmos informáticos para asignar píxeles a clases de suelo.

3. *Segmentación de imágenes.* El software reciente de teledetección incluye métodos de segmentación de imágenes para clasificar la cobertura terrestre y el uso de la tierra (Camara, 1996; Eastman, 2009). Un algoritmo reúne grupos de píxeles sobre la base de sus respuestas espectrales y a un conjunto de reglas establecidas por el analista. Una ventaja de este enfoque es el costo relativamente bajo en áreas extensas. No obstante, la vinculación cuidadosa de la cobertura terrestre con la información de verificación de campo sobre el uso de la tierra es necesaria a fin de evitar errores a gran escala.

24. Luego de seleccionar un método de interpretación de imágenes, puede realizarse un análisis y se pueden producir mapas digitales. El paso siguiente será la validación de los resultados. Los analistas deberán revisar y mejorar los procesos y los resultados de interpretación de imágenes, según el resultado del análisis de verificación y validación. En términos generales, para los usos de tierras tropicales, se requiere un alto nivel de opinión de expertos y de conocimiento del terreno.

Recuadro 4-3 El desafío de identificar la degradación forestal

La degradación forestal es una reducción de la densidad de los árboles, medida por la cobertura o la población de copas, dentro del bosque (Schoene, et al., 2007). Los bosques se degradan por causas humanas o naturales. La magnitud/intensidad de la degradación monitoreada depende de la definición de *bosque*. Por ejemplo, si un país identifica como *bosque* a una superficie mínima de 0,5 ha, una pérdida de bosque menor a 0,5 será informada como degradación. Las pérdidas mayores a 0,5 ha se considerarían deforestación. Se puede aplicar una lógica similar a otros límites de definición de *bosque* para la cubierta de copas y la altura. Sírvase referirse a Sasaki y Putz (2009), van Noordwijk y Minang (2009) y Guariguata et al. (2009) para obtener una explicación de la importancia de las definiciones.

La degradación puede ser difícil de identificar en imágenes satelitales. Las parcelas de inventario de bosques pueden producir cálculos de biomasa y de carbono precisos; no obstante los resultados son específicos del lugar (ver Harris, et al. 2010) En la leyenda del uso de la tierra expuesta anteriormente en este capítulo, la degradación forestal se explica mediante la identificación de los diferentes niveles de cubierta de copas. Pueden utilizarse datos espaciales relacionados para identificar áreas donde pueda estar ocurriendo la degradación (es decir, en concesiones de explotación forestal). La densidad de los bosques y la cobertura de los árboles puede calcularse utilizando la opinión de expertos, LIDAR (Detección y Alcance de la Luz, LIDAR por sus siglas en inglés) o imágenes aéreas multiespectrales en tres dimensiones.

La identificación de la degradación forestal es un tema importante en la investigación de teledetección. Asner (2009) ha desarrollado un método para combinar enfoques tradicionales de mapeo satelital con un enfoque aéreo activo de tecnología de láser denominado LIDAR. LIDAR produce información sobre la altura de los árboles, el diámetro de la copa y la estructura del bosque, siendo especialmente útil para determinar si un bosque ha sido talado en forma selectiva. Más recientemente, se utilizó LIDAR combinado con las imágenes de MODIS para elaborar un mapa de la altura de las copas de los árboles en todo el mundo (Lefsky, 2010).

M3DADI utiliza (1) técnicas basadas en el GPS para identificar los mosaicos de las copas de los árboles, y (2) equipos de cámaras disponibles en el mercado montados en una aeronave Cessna para generar fotomapas tramados. A partir de la videografía aérea se desarrolla una reconstrucción 3D que identifica las características del terreno y los tipos de vegetación y que mide la altura y la masa de los árboles individualmente. Luego, las mediciones se calibran con los datos del inventario de carbono y las ecuaciones de regresión para calcular el carbono a distancia (Stanley, et al. 2006).

La demanda de tiempo para el enfoque de muestreo de campo fue de alrededor de 2,5 a 3,5 veces mayor que para el enfoque M3DADI, para lograr el mismo nivel de precisión. Si bien M3DADI tiene costos fijos elevados, los costos de parcelas adicionales es bajo (Brown y Pearson, 2006). Otra ventaja de los enfoques de reconocimiento a distancia consiste en que los datos proveen un registro permanente de lo que se encontró en un sitio determinado en cualquier momento en particular. Las imágenes pueden volver a revisarse y verificarse, o pueden aplicarse nuevas técnicas de verificación a los datos históricos para mejorar los cálculos históricos (Stanley, et al. 2006). Estos nuevos métodos, así como otros, prometen mejorar nuestra capacidad de identificar la degradación de los bosques en forma efectiva en materia de costos.

Verificación de la precisión

25. Los cálculos de los uso de la tierra, ¿son precisos? La validación de la cobertura terrestre de la clasificación de los uso de la tierra es una práctica estándar que debe incluirse en el análisis del costo de oportunidad. La verificación de la precisión y la validación de los uso de la tierra son importantes para garantizar la credibilidad de los cálculos del cambio en el uso de la tierra. En este apartado se explica (1) las fuentes de error e incertidumbre, y (2) el proceso de validación.

Fuentes de error e incertidumbre

26. Un análisis debería identificar las fuentes de error y su magnitud. Con esta información el equipo de análisis puede revisar el trabajo con el fin de reducir estos problemas.

27. La utilización de imágenes múltiples – en toda la unidad de superficie de estudio o para fechas diferentes – requiere un proceso de clasificación por separado para cada escena individual. Estas diferencias en las imágenes y en el procesamiento pueden conducir a incoherencias en la calidad de la clasificación para la unidad de superficie de estudio. Por ejemplo, podría surgir un problema relacionado con la coordinación de las imágenes. Las interpretaciones pueden reflejar errores debido al vigor cambiante de la vegetación, si se capturan diferentes escenas de imágenes cercanas en momentos diversos del año. Si una escena fue capturada en la estación seca y otra en la estación húmeda, la clasificación puede reflejar diferencias estacionales en la vegetación, y no la cobertura terrestre y el uso de la tierra a más largo plazo.

28. Otro problema típico del mapeo del uso de la tierra en los trópicos es la nubosidad. El analista deberá tomar imágenes adicionales para las áreas cubiertas por nubes. De lo contrario, las áreas con nubosidad deben excluirse del análisis. Un desarrollo tecnológico adicional para el uso de las imágenes por Radar y LIDAR podría ser de ayuda para superar el problema de la nubosidad.

29. La nubosidad es un problema persistente, en particular en los países costeros de África Central. Se espera que la accesibilidad mejorada a imágenes SPOT (Mercier, 2010) y el

establecimiento de una Estación Receptora de Observación de la Tierra para la región de África Central en Gabon (Fotsing, et al. 2010) faciliten el mapeo de TD y el monitoreo concordante de los cambios en la cubierta forestal en el área.

30. La adquisición de imágenes con resolución espacial apropiada también constituye un problema potencial. Las dificultades surgen en la interpretación de la agricultura de pequeños productores agrícolas y de los bosques degradados. Una tarea esencial es asegurarse de que la resolución de las imágenes de teledetección puedan captar la cobertura terrestre y los usos de la tierra relacionados que sean relevantes para el análisis. El uso por parte de expertos de la definición y la composición de *unidades de mapeo mixtas* para mosaicos de uso de la tierra, puede ayudar a superar problemas de resolución espacial inapropiada.

Proceso de validación

31. Los métodos de validación pueden encontrarse en los libros de textos y en la bibliografía sobre teledetección y deben consultarse en profundidad (Jensen, 1995; Lillesand y Keifer, 2000; Congalton, 1991; Foody, 2001; Congalton y Green, 2009). Este apartado describe brevemente el proceso general para realizar un ejercicio de validación para mapas de cobertura terrestre y de uso de la tierra.

32. La validación requiere información sobre la "condición real" del uso de la tierra en todo el área de estudio. La información puede provenir de dos fuentes: 1) *verificación de campo*, o 2) datos de referencia.

1. La *verificación de campo* es un término de teledetección para la verificación en el terreno. Para adquirir dicha información, se realiza un estudio de campo a fin de recolectar las características de la tierra en puntos de muestreo utilizando un esquema de muestreo integral. Una forma de desarrollar puntos de muestreo es la utilización de generadores de puntos aleatorios dentro de un SIG para asignar sitios a verificar. Los puntos deberían tener la mayor cobertura posible de la variación en las imágenes de TD. No obstante, no existe ninguna regla establecida sobre la cantidad de puntos de datos que se necesitan para la validación. Sin embargo, una regla general indica que se requieren de 30 a 50 puntos para cada clase de cobertura terrestre / uso de la tierra.

Las tecnologías y las herramientas clave necesarias para la validación de campo son las hojas de cálculo, las bases de datos, los sistemas de posicionamiento global (GPS), y las cámaras digitales. Un documento de *protocolo de verificación de campo* disponible incluye un formulario de investigación por muestreo para registrar la información.³ El equipo de campo registra los datos en un formulario estandarizado. Es posible que con

³ La Plataforma para la Biodiversidad CIFOR-ICRAF ha elaborado un documento con el título "Protocolo de Verificación de Campo", disponible en http://gisweb.ciat.cgiar.org/GoogleDocs/FPP Mapper/groundtruth_protocol.pdf.

la *verificación de campo*, la capacidad del equipo de investigación para acceder a todas las partes de una unidad de superficie de estudio se vea limitada. Muchas áreas carecen de caminos o presentan terreno dificultoso, haciendo difícil adquirir una muestra representativa de los usos de la tierra y de la cobertura terrestre. Por ello, los esquemas de muestreo deben ser oportunistas en alguna medida, tomando la mayor cantidad de puntos en sitios donde el acceso sea de bajo costo y práctico. (Ver Recuadro 4.5 para obtener otros enfoques de ahorro de costos.)

2. Los datos de referencia son las imágenes o los mapas con un alto nivel de validez. Los datos de referencia más comunes son las imágenes de muy alta definición (IMAD), que pueden tener resoluciones espaciales de 1 m, un nivel de detalle que permita la validación contra la clasificación de la cobertura terrestre y de los usos de la tierra. Las fuentes comunes de IMAD incluyen Quickbird e IKONOS. Para algunas unidades de superficie, los mapas mundiales virtuales como Google Earth y Microsoft Virtual Earth con frecuencia incluyen IMAD, dispuestas en sus bandas ópticas. Las limitaciones a su uso incluyen la imposibilidad de la banda óptica para discernir diferencias en algunos usos de la tierra, y una adecuación de fechas de imágenes para efectuar comparaciones.

Recuadro 4-4 Optimización de actividades en el terreno

El trabajo de campo en el área de estudio puede cumplir muchos objetivos simultáneamente. Por ejemplo, mientras que los investigadores efectúan mediciones de biomasa a nivel de las parcelas, pueden tomarse fotografías digitales y puntos del sistema de posicionamiento global (GPS) con notas sobre las condiciones de la tierra.

Antes de interpretar las imágenes, se necesita trabajo de campo para identificar las unidades homogéneas de tierra a los fines de su clasificación. Durante el trabajo de campo, el equipo de análisis puede recolectar información sobre el terreno, la cual puede ser utilizada para entrenamiento y validación. A fin de evitar cualquier confusión, deben crearse dos conjuntos de datos – uno con puntos de entrenamiento y el otro con puntos para validación.

La información de verificación de campo debería ser administrada en un sistema de gestión de datos. Por ejemplo, el esquema que se expone más adelante muestra una interfase de Google Earth a fotografías, puntos de GPS y notas de campo almacenados en una hoja de cálculo en línea. El área de estudio fue visitada en una campaña de *verificación de campo* en el Amazonas peruano central. Para relacionar fotografías con sitios, se vincularon las marcas de fecha y hora de las fotografías digitales con aquéllas del punto de GPS.



Fotografía ejemplificativa de un punto de verificación de campo con un paisaje

33. Luego de determinar una cobertura terrestre o un uso de la tierra “real” para los puntos de muestras, puede comenzar la comparación con el mapa clasificado. Los datos de validación registrados se digitalizan en un mapa con su tabla de atributos adjunta. Luego el mapa de validación de muestras se superpone sobre el mapa de uso de la tierra. Esta superposición *point-in-polygon* produce una tabla en la cual una columna muestra la información de validación del uso de la tierra desde la investigación de campo o la IMAD. Otra columna muestra el uso de la tierra desde la clasificación. Estas dos columnas de datos luego se utilizan para crear una matriz de error (Tabla 4.3). Este ejemplo compara un mapa clasificado con IMAD en Google Earth. El valor en cada celda es la cantidad de puntos de validación para cada combinación de uso de la tierra designado de acuerdo con el mapa clasificado y con la IMAD.

Tabla 4-3 Una matriz de error

Clases de Cobertura Terrestre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Google	Usuarios
1	40					3				43	93,0
2		31				2				33	93,9
3			29		1	3				33	87,9
4				28		4	1		1	34	82,4
5					24	2				26	92,3
6	1	4	1	4	1	36	3	3	3	56	64,3
7				3			30			41	73,2
8	1						4	26		31	83,9
9			1	2			3		21	27	77,8
Landsat	42	35	31	37	26	50	41	37	25	324	
Productores	95,2	88,6	93,5	75,7	92,3	72,0	73,2	70,3	84,0		

Referencias de las CCT: 1-Bosque, 95% copas; 2-Bosque, 80% copas; 3-Bosque, 65% copas; 4-Bosque, 50% copas; 5-palma aceitera; 6-rotación de cultivos; 7-barbecho de ciclo corto; 8-grandes haciendas ganaderas; 9- sin vegetación.

Fuente: White y Hyman, 2009.

34. La matriz de error muestra el número total de puntos clasificados correctamente, así como los que fueron clasificados en forma errónea. El analista completa la tabla de la matriz de error utilizando los resultados de la superposición *point-in-polygon*. El eje vertical de la tabla representa la clasificación de mapas basada en las imágenes de Landsat y el eje horizontal representa las imágenes IMAD. La denominación “Usuarios” (columna en el extremo derecho en la tabla) refiere la cantidad correctamente asignada de píxeles dividida por el número total de píxeles asignados en esa clase, indicando errores de asignación cuando los píxeles han sido asignados a una clase incorrecta. La denominación “Productores” (última fila de la tabla) refiere la cantidad de píxeles correctos para una clase dividida por el número real de píxeles de referencia para dicha clase, indicando los errores de omisión cuando los píxeles han sido omitidos de su clase correcta.

35. Por ejemplo, la celda en la parte superior izquierda muestra que 40 puntos se interpretaron (del mapa clasificado) y se verificaron (de una IMAD en Google earth) como 95% de cubierta forestal. Los 40 puntos fueron clasificados correctamente, y por ello aparecen en conjuntos diagonales de números (celdas sombreadas). Los puntos clasificados erróneamente están fuera del grupo diagonal de números. Por ejemplo, la fila 1, columna 6 indica que tres puntos del mapa fueron clasificados como 95% de cubierta forestal, pero de acuerdo con las IMAD, eran áreas de cultivos rotativos.

36. La ventaja de la matriz de error consiste en que permite a los analistas evaluar qué combinaciones de uso de la tierra y cambio en la cobertura terrestre presentan mayores errores. Los resultados de la matriz de error se utilizan para revisar y mejorar el mapa. Los analistas pueden realizar varias secuenciaciones de mejoramiento de mapas y la consecuente evaluación de errores, hasta obtener un nivel aceptable de error.

37. El análisis de errores y la validación pueden resultar tareas dificultosas. La descripción anterior es a los fines de proporcionar un panorama general del proceso de validación de mapas. La documentación del trabajo de validación debe ser completa para que expertos independientes evalúen la calidad de los mapas.

Cálculo del cambio en el uso de la tierra

38. Este apartado describe cómo calcular el cambio en el uso de la tierra. El procedimiento incluye cuatro pasos básicos.

- *Preparación:* Asegúrese de que los mapas para cada fecha individual utilicen el mismo sistema de clasificación y de que las imágenes sean coherentes en relación con el área cubierta, la estación y el sensor (resolución espacial y espectral).
- *Superposición:* Utilice SIG o software de procesamiento de imágenes para superponer mapas de uso de la tierra de dos fechas diferentes. El proceso de superposición genera una nueva tabla— denominada una *tabla de atributos* — donde cada polígono o píxel en el mapa contiene el uso de la tierra registrado en la primera y en la segunda fecha.
- *Simplificación:* La tabla de atributos debería reducirse al conjunto de combinaciones únicas de cambios en el uso de la tierra.⁴ Cada polígono individual contiene el código de uso de la tierra para las fechas en el análisis de los cambios en el uso de la tierra. Las diferentes combinaciones de cambios en el uso de la tierra se catalogan para cada polígono. A fin de reducir la tabla de atributos a combinaciones únicas de cambios en el uso de la tierra, cada transición distintiva del uso de la tierra debe identificarse con sus unidades de superficie agrupadas.⁵
- *Creación de la matriz de cambios en el uso de la tierra:* La información de la tabla de atributos de los cambios en el uso de la tierra es un elemento para desarrollar una matriz de cambios en la cobertura terrestre. Los valores de la unidad de superficie se sintetizan para cada combinación de cambio en el uso de la tierra.

39. Con frecuencia, puede encontrarse más información sobre los métodos y los procedimientos en los libros de textos sobre evaluaciones de recursos naturales o en

⁴ Al utilizar una trama de SIG, el sistema reduce automáticamente la tabla de atributos a combinaciones únicas. Los sistemas de vectores necesitarán algún tipo de operación de *disolución*.

⁵ Este procedimiento se denomina con frecuencia DISOLUCIÓN en las bases de datos y en los paquetes de software de SIG. En el análisis de Perú, se identificaron 60 combinaciones únicas de cambios en el uso de la tierra.

manuales de software (por ejemplo, Lowell y Jatón, 2000; Eastman, 2009). Adicionalmente, algunos programas de software de procesamientos de imágenes y SIG incluyen herramientas para realizar análisis de cambios en el uso de la tierra, tales como el poco costoso y popular IDRISI (Eastman, 2009).

40. La tabla 4.4 es un ejemplo de matriz de cambio de cobertura terrestre a nivel de país. La columna vertical indica el año de la imagen de cobertura terrestre inicial (2003). La duración del período de cambio se extiende hasta 2006, según se muestra en la fila horizontal. La diagonal de la tabla indica unidades de superficie de tierra sin modificaciones entre 2003 y 2006 (en tinta azul).

41. Nótese que estos números usualmente son mayores que la mayoría de otros números en la tabla. En la mayoría de las unidades de superficie de estudio, especialmente si el período de cambio es relativamente corto, es probable que el área general de cambio sea pequeña. La cifra en la primera fila y en la segunda columna indica que 1,22 millones de ha cambiaron de tierra forestal en 2003 a tierras de cultivo en 2006. Cada celda en la matriz de cambio en la cobertura terrestre se lee de la misma manera. El valor total al final de la primera fila es el área en Bosque en 2003 (93,60). El valor total en la base de la primera columna es el área total en Bosque en 2006 (98,46). Por ello, la unidad de superficie de estudio ganó casi 5 millones de hectáreas de bosque entre las dos fechas.

Tabla 4-4 Una matriz hipotética de cambio en el uso de la tierra.

		<i>Cambio a</i>							
		Cobertura terrestre 2006							
<i>Cambio de</i> Cobertura terrestre 2003		TF	CL	P	H	A	OT	SD	Total
	TF	89,11	1,22	1,64	0,47	0,02	0,45	0,69	93,6
	CL	0,87	45,28	1,09	0,30	0,35	0,39	0,18	48,45
	P	1,79	1,27	14,73	0,49	0,03	0,21	0,15	18,66
	H	1,22	0,65	0,58	7,78	0,03	0,30	0,01	10,57
	A	0,03	0,17	0,04	0,01	2,61	0,02	0,01	2,91
	OT	0,20	0,28	0,32	0,11	0,02	2,09	0,01	3,02
	SD	5,25	1,50	1,03	0,20	0,04	0,17	2,51	10,7
Total	98,46	50,37	19,42	9,36	3,09	3,63	3,57	187,91	

Coberturas terrestres: TF= tierra forestal, P= pastizales H= humedal, A= asentamiento OT= otra tierra, SD= sin datos.

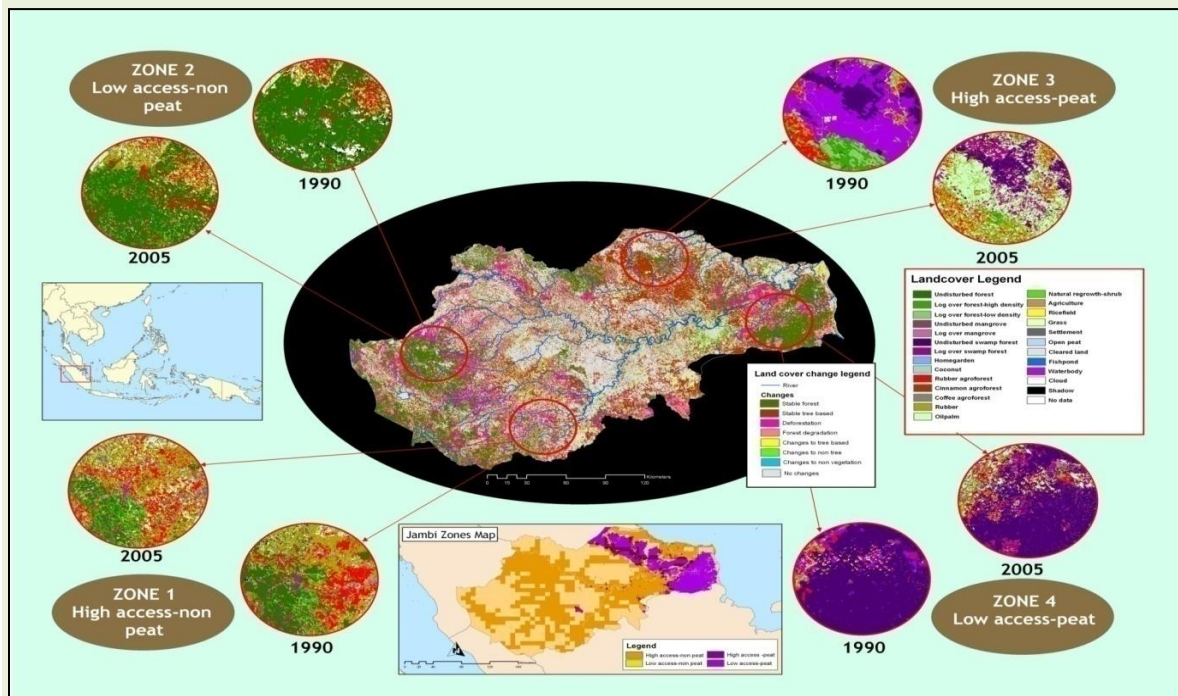
Fuente: Autores

42. La matriz de cambio en el uso de la tierra es una entrada clave para la hoja de cálculos de análisis de costo de oportunidad. La matriz se copia directamente a la hoja de cálculos donde puede usarse la información sobre cambio en el uso de la tierra con datos económicos para calcular los costos de oportunidad.

43. La medición del cambio de los uso de la tierra, según se describió anteriormente, proporciona datos importantes para el análisis de costo de oportunidad y para REDD+. Además de proveer datos necesarios para el análisis de costo de oportunidad, la matriz de cambio del uso de la tierra puede usarse para evaluar las fuerzas impulsoras de la deforestación y de las trayectorias de uso de la tierra en el transcurso del tiempo. El apartado final de este capítulo, que se expone a continuación, describe cómo usar los datos de cambio en el uso de la tierra para explicar el cambio en tal uso.

Recuadro 4-5 Mapas de uso de la tierra para la Provincia de Jambi, Indonesia

A continuación sigue un ejemplo de mapas de uso de la tierra derivados del sistema de teledetección en Indonesia (van Noordwijk et al., 2007). El área de estudio ha sido dividida en zonas de acuerdo con la accesibilidad y la presencia de turba, factores importantes en la evaluación del costo de oportunidad de la deforestación evitada.



Mapas de uso de la tierra para 1990 y 2005 en la provincia de Jambi, Indonesia

Fuente: van Noordwijk et al., 2007.

Explicación del cambio en el uso de la tierra

44. Los uso de la tierra pueden variar rápida o lentamente, en ocasiones por motivos obvios y en ocasiones debido a fuerzas ocultas. Dentro de un contexto de REDD+, la comprensión y la explicación del cambio en el uso de la tierra es esencial para identificar reducciones apropiadas del nivel de emisión y las políticas eficaces para mantener e incrementar las reservas de carbono.

45. En este apartado se explican tres temas relacionados, las *transiciones forestales*, los *factores que motivan la deforestación* y las *trayectorias en el uso de la tierra*. El estudio de las transiciones de los bosques ayuda a identificar el estado de los bosques nacionales: desde naturales/vírgenes a talados y degradados. El estado de los bosques tiene implicancias en los cálculos del contenido de carbono, de las ganancias futuras y del costo de oportunidad. El análisis de los factores que motivan la deforestación intenta esclarecer por qué ocurre la deforestación. El tema de las trayectorias del uso de la tierra se basa en el análisis de cambios pasados en el uso de la tierra. Es esencial comprender el estado de los bosques, los impulsores del cambio y los tipos de cambio, para identificar trayectorias futuras plausibles de uso de la tierra, de las cuales se calcula REDD+ y los costos de oportunidad.

Transiciones forestales

46. Los bosques mundiales han experimentado diferentes niveles de uso. En función de su estado, ciertos componentes específicos de la política de REDD+ (con respecto a la deforestación, la degradación, la forestación/reforestación) pueden ser más relevantes en algunos países que en otros. A fin de comparar el estado de los bosques se puede utilizar una curva de transición (Figura 4.4) que refleje la dinámica de la agricultura, de los bosques y de otros uso de la tierra en el tiempo (Angelsen, 2007). Consecuentemente, la ubicación de un país (o región subnacional) en la curva de transición de bosques puede afectar las prioridades para participar en programas de REDD+ y los costos de oportunidad asociados. El marco de transición de bosques utiliza cuatro categorías básicas:

- 1) Países con **baja deforestación y alta cobertura forestal** tales como la cuenca del Congo y Guyana. En estos países, los bosques son relativamente vírgenes, sin embargo la deforestación y la degradación pueden aumentar en el futuro. La degradación es importante ya que es poco probable que estos países puedan obtener un beneficio por “evitar la deforestación”.
- 2) Países con **alta deforestación** tales como (áreas de) Brasil, Indonesia y Ghana. Estos países tienen fuertes incentivos para contabilizar la deforestación. No obstante, es probable que tengan menor interés en contabilizar la degradación, a menos que ello implique un trabajo de contabilización adicional reducido.⁶

⁶ La exclusión de la degradación forestal de los programas nacionales de REDD+, especialmente donde la tala selectiva es común, podría conducir a desplazamientos considerables.

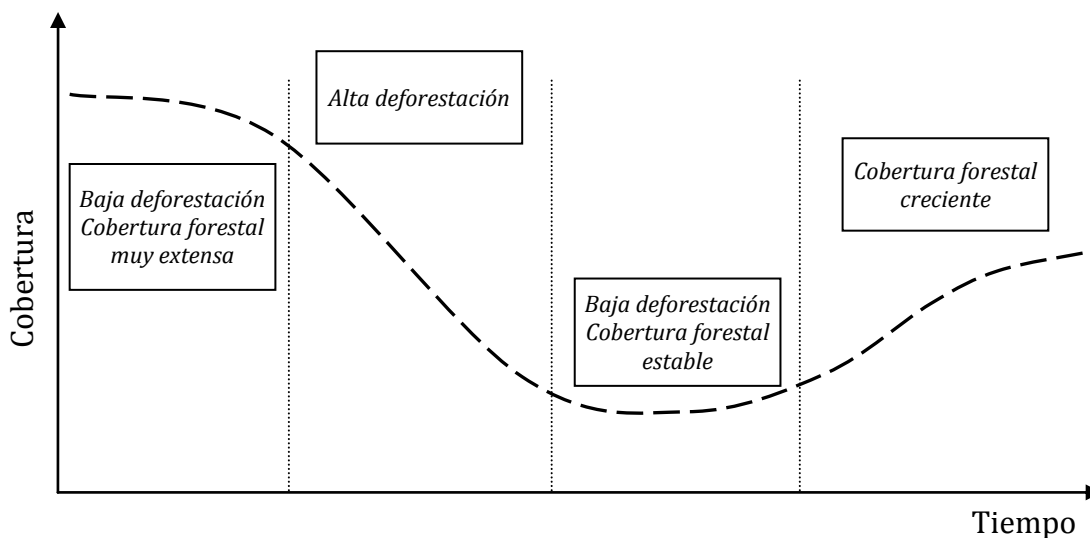


Figura 4-4 Categorías de transición forestal

Fuentes: Adaptado de Angelsen (2007) y Murdiyarsa (2008).

- 3) Los países con **baja deforestación y cobertura forestal estable** se caracterizan por los mosaicos forestales y los bosques estabilizados. Los índices de deforestación se han estabilizado, porque el bosque se han talado intensamente o debido a políticas protectorias de los bosques efectivas. India y partes de América Central pueden pertenecer a esta categoría. Es posible que estos países se interesen en reducir la degradación, probablemente en combinación con la conservación forestal, la forestación y la reforestación, y en otros esquemas que tengan por objetivo mejorar las reservas de carbono de los bosques.
- 4) Países con **cobertura forestal creciente** tales como China y Vietnam. Estos países tienen interés en la contabilización de la degradación y en el mejoramiento de sus reservas de carbono. Si bien el área forestal nacional puede estar aumentando a través de plantaciones, es posible que los bosques existentes simultáneamente estén experimentando la degradación, lo que podría revertirse a través de la protección o de plantaciones de mejora.

Factores que motivan la deforestación

47. El conocimiento de los factores más amplios que impulsan la deforestación ayuda a los analistas a comprender las causas potencialmente complejas del cambio en el uso de la tierra, calcular tanto los niveles de emisión habituales como los de referencia, e identificar las políticas apropiadas requeridas para lograr REDD+.

48. Las causas de la deforestación pueden ser tanto observables como ocultas (Meyer y Turner, 1992; Ojima, et al., 1994). Un meta-análisis global de 152 casos regionales de estudio clasificaron la deforestación en los trópicos en tres categorías de causas observables: (1) expansión agrícola, (2) extracción de madera, y (3) extensión de infraestructura (Geist y Lambin, 2001, Tabla 4.5). Estas causas a su vez están influenciadas por fuerzas impulsoras ocultas que son más difíciles de evaluar. Dichas fuerzas ocultas normalmente actúan conjuntamente entre sí – en escalas temporales y espaciales diferentes.

Tabla 4-5 Una categorización de causas de deforestación observables y ocultas

Causas observables		
Expansión agrícola	Expansión de materia prima (pequeño productor agrícola)	
	Agricultura comercial (gran escala y pequeños productores agrícolas)	
Extracción de madera	Extracción de madera	Talado por empresas privadas Talado no declarado
	Leña/carbón	Usos domésticos rurales y urbanos
		Usos industriales
Extensión de infraestructura	Caminos (públicos, forestales)	
	Estructura de emprendimientos privados	Energía hidráulica
		Asentamientos humanos
Causas ocultas		
Económicas	Crecimiento del mercado	Crecimiento de la demanda en centros urbanos
		Incremento del acceso a los mercados urbanos
		Cambios en las dietas de los consumidores (por ejemplo, carne)
		Pobreza
		Shocks de precios
Políticas y de factores institucionales	Políticas formales	Falta de crédito o crédito de rendimiento insuficiente y mercados de insumos
		Tributos sobre las exportaciones, intervenciones de precios (por ejemplo, subsidios)
		Política industrial
		Investigación y extensión agrícola
		Política migratoria
De tecnología agrícola	Acceso abierto a tierra forestal (Costa de Marfil, Ghana, Camerún)	Reformas agrarias
		Innovaciones en ahorro de mano de obra
		Poca o ninguna generación de innovaciones en ahorro de tierras
Demográficas	Estancamiento tecnológico que conduce a extensificación	Crecimiento de la población
		Migración
Disparadores sociales	Distribución espacial de la población	Condiciones críticas sanitarias y económicas (por ejemplo, epidemias, colapso económico)
		Fallas en políticas gubernamentales (por ej., cambios abruptos en políticas macroeconómicas)

Fuente: Geist y Lambin, 2001.

49. En Perú, por ejemplo, el equipo nacional de REDD+ en primer lugar revisó la bibliografía mundial sobre los factores que motivan la deforestación (Velarde, et al., 2010). Luego se revisaron los estudios nacionales de deforestación existentes. Sobre la base de estos recursos, se creó una estructura de análisis con los impulsores directos e indirectos de la deforestación en el Amazonas Peruano (Figura 4.5). Mientras que esta información no se necesita directamente para las estimaciones de costos de oportunidad, el análisis permitió al equipo nacional desarrollar escenarios futuros del uso de la tierra y calcular los niveles de referencia de emisión (REL). Esta información puede ayudar a priorizar usos específicos del suelo para el análisis del costo de oportunidad.

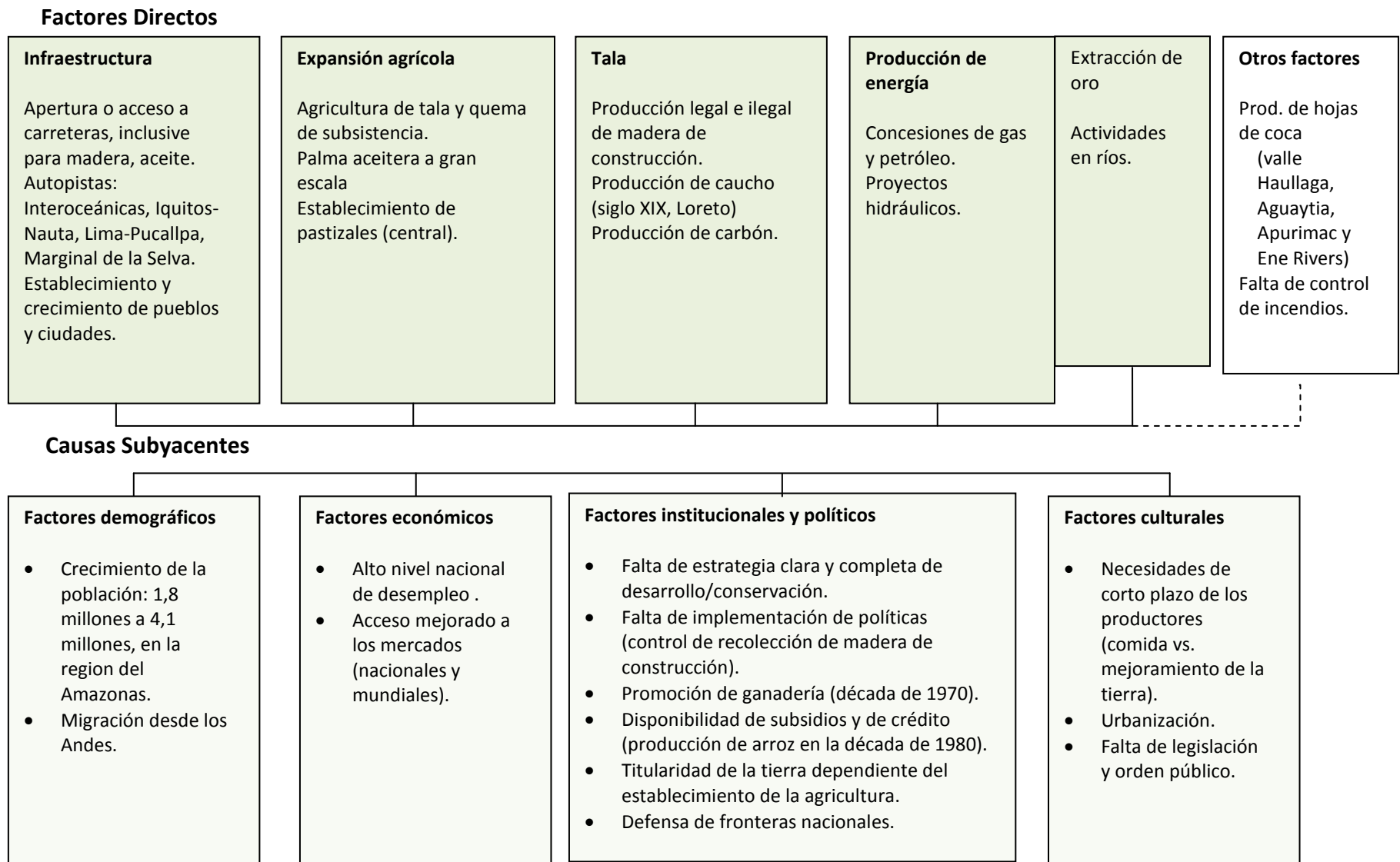


Figura 4-5 Causas directas y subyacentes de la deforestación en el Amazonas Peruano

Fuente: Adaptado de White y otros (2005), Geist & Lambin (2002), Reducing Emissions from All Land Uses project (REALU; Velarde, et al., 2010).

Identificación de trayectorias de uso de la tierra

50. La expresión *cambio en el uso de la tierra* puede tener diferentes significados, especialmente dentro de un contexto de REDD+. El uso de la tierra puede implicar un cambio de la silvicultura a la agricultura, de un cultivo agrícola a otro, o una serie de cambios en el uso de la tierra. Por ello, es esencial clarificar qué se entiende por cambio en el uso de la tierra para las discusiones sobre políticas de REDD+ y para el cálculo de costos de oportunidad.

51. El cambio en el uso de la tierra pocas veces es un evento único, independiente y rápido, tal como: de bosque natural a producción agrícola. Especialmente en las fronteras de los bosques, normalmente las tierras sufren una serie de cambios interrelacionados durante muchos años. Una secuencia observada frecuentemente comienza cuando los leñadores ingresan en un bosque para talar selectivamente los árboles de mayor valor. Posteriormente, las compañías madereras talan selectivamente otras especies de menor valor. Luego, los colonizadores pioneros convierten el bosque remanente en parcelas de tierra agrícola, a través de técnicas de tala y quema. Transcurridos algunos años de producción, la parcela se deja como barbecho por varios años. Es posible que estas prácticas agrícolas itinerantes (cultivo-barbecho) continúen, o las parcelas pueden convertirse en pastizales para ganado o en agricultura intensiva.

52. El análisis de la historia de los uso de la tierra dentro de las fronteras forestales proporciona indicios importantes de la forma en que el uso de la tierra probablemente podría cambiar sin un programa de REDD+. Estos escenarios de cambios futuros del uso de la tierra se denominan *trayectorias de uso de la tierra*. Cada uno de los uso de la tierra comprendidos en los cambios posee niveles de reserva de carbono y de ganancias distintivos, y por ello tienen un efecto sobre las estimaciones de los costos de oportunidad de REDD+.

53. El enfoque que aquí se expone integra toda la secuencia de cambios, que considera los uso de la tierra *durante y luego* de la conversión forestal (por ejemplo, de bosque inicial hasta la etapa final). Este enfoque integral de los cambios en el uso de la tierra permite a los países comprender la situación actual y calcular los usos probables de la tierra en el futuro.

54. La identificación del cambio en el uso de la tierra se logra mejor a través de las discusiones de colaboración entre especialistas locales y externos. Este diálogo puede adelantarse mientras que se identifican los usos predominantes d la tierra y el nivel de precisión para el análisis de costo de oportunidad (Niveles 1,2,3).

55. Para guiar un análisis de uso de la tierra a nivel nacional, se identifican cinco tipos generales de cambios en el uso de la tierra. Tales cambios se basan en el producto (bosque versus agricultura/ganadería) y en la frecuencia del cambio dentro del horizonte de análisis: cíclico, directo o único y de transición. Los cinco tipos son cosechas forestales,

conversiones forestales, ciclos agrícolas, transiciones agrícolas y cambios directos, y se describen en el Figura 4.6. El contexto del análisis lo proveen los uso de la tierra forestales y no forestales previo al horizonte del análisis.

Fuente: Autores.

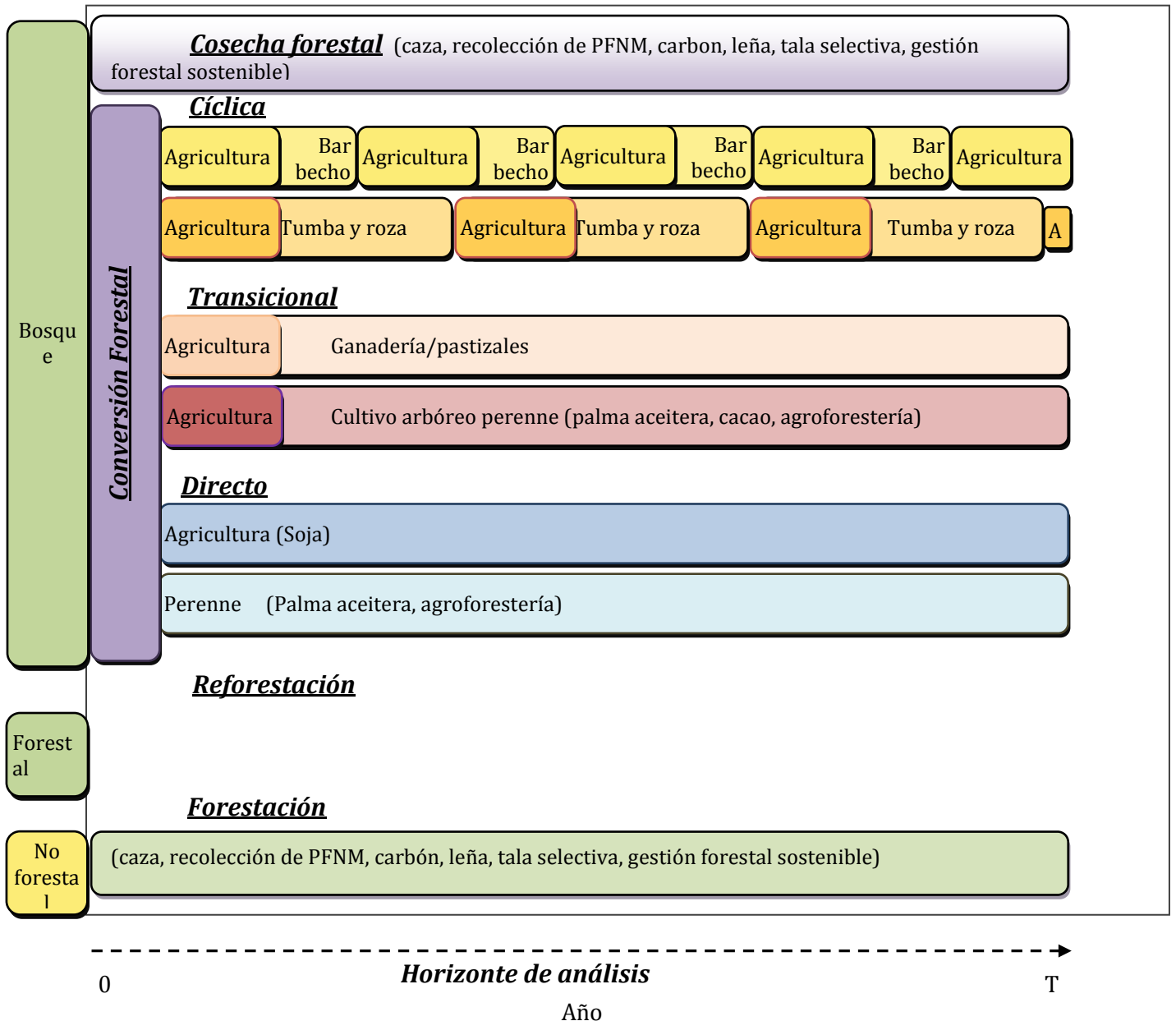


Figura 4-6 Trayectorias de cambio en el uso de la tierra: tipos y ejemplos

Fuente: Autores.

Aprovechamientos forestales

56. Algunas actividades humanas dentro de los bosques pueden generar ganancias con un efecto reducido o nulo sobre los árboles. Las actividades de cosecha, tales como la caza y algunas recolecciones de productos forestales no madereros (PFNM), pueden ocurrir sistemáticamente a través de un horizonte temporal y no afectar los niveles de densidad de carbono de un bosque. Otras actividades, como la tala o recolección intensiva de leña pueden impactar significativamente en el carbono. Estas actividades modifican el bosque respecto de su estado natural.

57. Incluso es posible que las prácticas de tala de madera relativamente invasivas que tienen un gran impacto sobre un bosque, no ocasionen la pérdida de su categorización de uso de la tierra como bosque. Recuerde que la definición amplia del IPCC de bosque permite que ocurran cambios en alguna medida sustanciales (es decir, una reducción de la cobertura de los árboles o degradación).

58. Cada una de estas actividades de aprovechamiento forestal genera diferentes productos y rentabilidades, con diversos impactos del carbono en los bosques. Por ello, los cálculos del carbono y de la rentabilidad de los usos de suelos forestales deberían tener en consideración una variedad potencialmente amplia de gestiones forestales y prácticas de cosecha, algunas de las cuales ocurren pocas veces en un período determinado (por ejemplo, talas de madera) y otras que ocurren con mayor frecuencia, incluso anualmente (por ejemplo, recolección de PFNM).

Conversión forestal

59. La conversión de bosque a otros usos es un tipo muy conocido de cambio en el uso de la tierra. No obstante, este cambio único, puede producir resultados financieros definidos según el contexto. Los árboles pueden representar una carga o un beneficio financiero durante el proceso de conversión. De venderse por su madera o por carbón, los árboles pueden generar ganancias importantes. En cambio, si los productos forestales no pueden venderse, el costo de su remoción puede reducir la rentabilidad.

60. Los bosques no son todos iguales. Muchos bosques, especialmente en áreas de frontera establecidas, han sido parcialmente explotados, luego de que la madera de alto valor hubiera sido talada. El análisis del costo de oportunidad de REDD+ requiere reconocer los factores del uso de los árboles (y rendimientos netos) determinados con frecuencia espacialmente. Esta amplia variedad de impactos financieros potenciales puede afectar en gran medida las estimaciones de los costos de oportunidad de REDD+. En el Capítulo 6 se profundiza este tema.

Los tres próximos cambios en el uso de la tierra se refieren principalmente a actividades agrícolas y ganaderas.

Cambio cíclico

61. El cambio cíclico en el uso de la tierra es una serie repetitiva de uso de la tierra, con frecuencia denominada *sistema de uso de la tierra*. Un ejemplo de ellos es un cultivo agrícola y rotación de barbecho. Este ciclo de uso de la tierra normalmente en el transcurso de un horizonte temporal. Si bien ciertos cultivos específicos dentro de los ciclos pueden diferir, pueden discernirse patrones generales que pueden simplificar un análisis de rentabilidad.

Cambio transicional

62. Las transiciones en el uso de la tierra son cambios que no se repiten con el transcurso del tiempo. Una transición común es aquella de agricultura de tala a quema para uso de la tierra perennes, tales como los sistemas de cultivos arbóreos o de ganadería. El nuevo emprendimiento normalmente reemplaza la fase de barbecho, en lugar de continuar un ciclo de cultivo-barbecho. Con frecuencia se requieren inversiones sustanciales de capital y mano de obra antes de que los nuevos uso de la tierra generen resultados positivos.

Cambio directo

63. En algunas áreas marginales de los bosques, las tierras se convierten directamente de bosques a producción agrícola o forestal. A menudo administrados por empresas multinacionales, la soja, los sistemas agroforestales o las plantaciones de palma aceitera constituyen ejemplos de cambios directos.

Los siguientes cambios en el uso de la tierra se refieren a "+" en REDD+.

Reforestación

64. La reforestación se refiere a la replantación de bosques talados total o parcialmente (es decir, bosques degradados). Numerosos tipos de actividades sustentables pueden desarrollarse con bosques establecidos.

Forestación

65. El establecimiento de nuevos bosques se denomina *forestación*. Dicha actividad normalmente ocurre donde no existían bosques o donde existieron hace muchos años.

Predicción de cambios en el uso de la tierra

66. Las proyecciones futuras de los cambios en el uso de la tierra constituyen un componente importante en el cálculo de los niveles de emisión de la línea de base y de referencia. La Figura 4.7 muestra cómo el análisis de las tendencias históricas se vincula con proyecciones futuras.

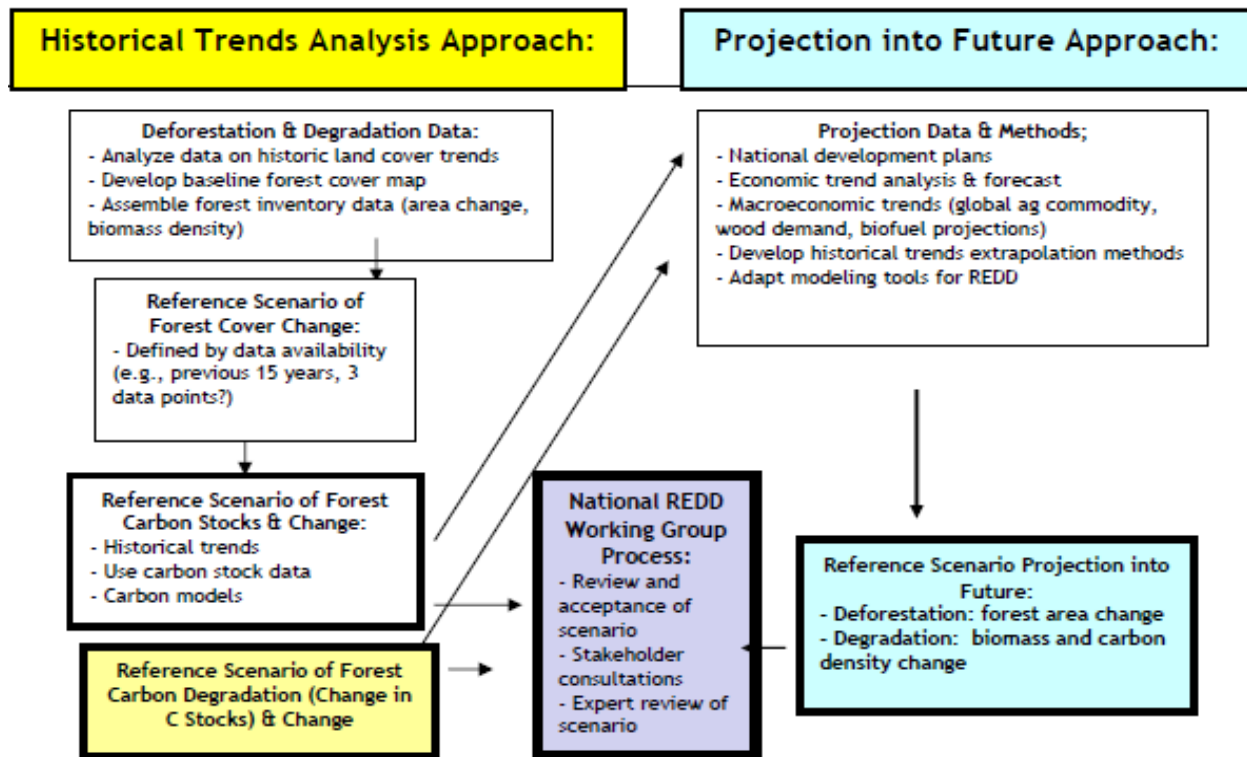


Figura 4-7 Cambio en el uso de la tierra: vínculos entre los análisis histórico y futuro

Fuente: FCPF, 2010.

67. Los análisis de los cambios futuros en el uso de la tierra van de simples a sofisticados. Los enfoques simples incluyen extrapolaciones de cambios pasados en el uso de la tierra hacia el futuro. Pueden realizarse ajustes para reflejar tanto los factores biofísicos (por ejemplo, fertilidad de la tierra, acceso a carreteras, etc.) como los socioeconómicos (por ejemplo, el crecimiento de la población, la política de desarrollo gubernamental, los precios de los alimentos, etc.). Los enfoques sofisticados incluyen análisis probabilísticos espaciales con diferentes variables explicativas y efectos de retroalimentación. Para obtener una revisión exhaustiva de los modelos de cambio en el uso de la tierra, sírvase consultar Agarwal, et al. (2002). A pesar de la amplia variedad de métodos analíticos complejos, los análisis de escenario son importantes para comparar el efecto de diferentes datos y presunciones contextuales y de método.

Referencias y lectura complementaria

- Achard, F., H. Eva, H.J. Stibig, P. Mayaux, J. Gallego, T. Richards, J.P. Malingreau. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*. 279(5583)999-1002.
- Agarwal, C., G.M. Green, J.M. Grove, T.P. Evans, C.M. Schweik. 2002. A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice. Gen. Tech. Rep. NE-297. Newton Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 61p. <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/5027>
- Anderson, J.R., E.E. Hardy, J.T. Roach, R.E. Witmer. 1976. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. Geological Survey Professional Paper 964. Washington, DC. Departamento gubernamental de edición.
- Asner, G. P. 2009. Tropical forest carbon assessment: integrating satellite and airborne mapping approaches. *Environmental Research Letters*. 4 (July-September 2009) 034009. http://www.iop.org/EJ/article/1748-9326/4/3/034009/er19_3_034009.html
- Baccini, A. M. Friedl, C. Woodcock, R. Warbington. Forest biomass estimation over regional scales using multi-sourced data. *Geophysical Research Letters*.
- Brown, S., T. Pearson. 2006. *Comparison of the M3DADI System and Conventional Field Methods for Monitoring Carbon Stocks in Forests*. Technical Advisory Panel Meeting. March. Winrock International. http://www.winrock.org/ecosystems/files/TAP_presentation-M3DADIVsCONV_2006.pdf
- Camara, G. R. Modesta Souza, U. Moura Freitas, J. Garrido. 1996. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers and Graphics*. 20(3):395-403.
- Cihlar, J., L. Jansen. 2001. From land cover to land use: a methodology for efficient land use mapping over large areas. *Professional Geographer*. 53:275-259.
- Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37:35-46
- Congalton, R., K. Green. 2009. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Segunda Edición. CRC Press. Boca Raton, FL.
- DeFries, R. G. Asner, F. Achard, C. Justice, N. LaPorte, K. Price, C. Small, J. Townsend. 2005. Monitoring tropical deforestation for emerging carbon markets. pp. 35-44. In: Mountinho, P., S. Schwartz (Eds.) *Tropical Deforestation and Climate Change*. Belem: IPAM and Environmental Defense.
- DeFries, R., F. Achard, S. Brown, M. Herold, D. Murdiyarso, B. Schlamadinger, C. de Souza Jr, 2007. Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science and Policy* 10: 385-394.
- Di Gregorio, A. 2005. *Land Cover Classification System: Classification concepts and user manual*. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Eastman, J.R., 2009, IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing. Worcester, MA: Clark University). 300p.
- FCPF. 2009. *Reference Scenarios*. Global Dialogue on Developing a Readiness Preparation Proposal. August 13-14. Washington, D.C.
- Foody, G. 2001. Status of land cover classification accuracy of assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80(1): 185-201.
- Foody, G., D. Boyd M. Cutler. 2003. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment*. 85:463-474.
- Fotsing, J. M., L. Durieux, et al. 2010. An Earth Observation Ground Station and Research Laboratory for long term forest monitoring in Central Africa. Conférence internationale COMIFAC sur le suivi des stocks et flux de carbone. Brazzaville.
http://www.cbf.org/proceedings/items/COMIFAC-Workshop_Brazzaville-Documentation.html
- Geist, H. and E. Lambin. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*. 52(2): 143-150.
- Goetz, A.B., N.T. Laporte, T. Johns, W. Walker, J. Kelndorfer, R.A. Houghton, M. Sun. 2009. Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. *Carbon Balance and Management*.4:2.
- GOFC-GOLD. 2005. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting. Available from <http://www.gofc-gold.uni-jena.de/redd/>. Accessed on June 30, 2010.
- Guariguata, M. R., R. Nasi and M. Kanninen. 2009. Forest degradation: it is not a matter of new definitions. *Conservation Letters* 2:286-287.
- Harris, N.L., S.S. Saatchi, S. Hagen, S. Brown, W. Salas, M.C. Hansen, A. Lotsch. 2010. *New Estimate of Carbon Emissions from Land-Use Change*. Winrock International.
<http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock%20-%20New%20Estimate%20of%20Carbon%20Emission%20from%20Land%20Use%20Change%20-%20Forest%20Day%20Poster%202010.pdf>
- Herold, M., J. Latham, A. Di Gregorio, C. Schullius. 2006. Evolving standards in land cover characterization. *Journal of Land Use Science*. 1(2-4):157-168.
- Herold, M., T. Johns. 2007. Linking requirements with capabilities for deforestation monitoring in the context of the UNFCCC-REDD+ process. *Environmental Research Letters*. 2:Octubre-Diciembre.
- IPCC. 2006. 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe (Eds). Published: IGES, Japón.
- Jansen, L., A. Di Gregorio. 2003. Land use data collection using the “land cover classification system”: results from a case study in Kenya. *Land Use Policy*. 20:131-148.

- Jansen, L., A. Di Gregorio. 2004. Obtaining land use information from a remotely sensed land cover map: results from a case study in Lebanon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5:141-157.
- Jensen, J. R. 1995. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 2nd edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 318 pp.
- Lefsky, Michael A. 2010. A global forest canopy height map from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer and the Geoscience Laser Altimeter System. *Geophysical Research Letters*. 37, L15401, doi:10.1029/2010GL043622,
- Lillesand, T.M., R.W. Kiefer. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th ed.. Wiley, New York, USA.
- Kim Lowell, K. , A. Jatón (Eds.) 2000. *Spatial Accuracy Assessment: Land Information Uncertainty in Natural Resources*. CRC Press. 450 p.
- Martinet, A., C. Megevand, C. Streck. 2009. *REDD+ Reference Levels and Drivers of Deforestation in Congo Basin Countries*. The World Bank: Washington D.C. 20p.
<http://www.comifac.org/Members/tvtchuante/technical-note-on-redd-reference-levels-and-drivers-of-deforestation-in-congo-basin-countries>
- Mercier, C. 2010. Mise a disposition des images SPOT pour le suivi du couvert forestier du Bassin de Congo. *Atelier Régional COMIFAC - Suivi des stocks et flux du carbone dans le Bassin du Congo*, Brazzaville.
- Ojima, D.S.,K.A. Galvin, B.L. Turner. 1994. Global Impact of Land-Cover Change. *BioScience*. 44(5): 300-304.
- Puyravaud. J. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest ecology and management*. 177: 593-596.
- Puig, J., G. Leclerc, H. Eva. 2000. Metodología para análisis multitemporal de áreas con procesos de deforestación. Estudio de casos en América Latina con el proyecto TREES. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota (SELPER), Puerto Iguazú, Argentina 7-9 Nov. p 395-405.
- Puig, J., G. Hyman and S. Bolaños. 2002. Digital classification vs. visual interpretation: a case study in humid tropical forests of the Peruvian Amazon. *Proceedings of the 29th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Buenos Aires, Argentina. April 8-12.
- Rubliogo, V. 2010. *REDD-ALERT, WP1 ,WP2 internal report*. IITA. Camerún.
- Saatchi, S., R. Houghton, R. Dos Santos Alvala, J. Soares y Y. Yu. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*. 13:816-837.
- Sasaski, N., F. E. Putz. 2009. Critical need for new definitions of “forest” and “forest degradation” in global climate change agreements. *Conservation Letters*. 2:226-32.
- Sasaki, N., G.P. Asner, W. Knorr, P.B. Durst, H.R. Priyadi, F.E.Putz. 2011. Approaches to classifying and restoring degraded tropical forests for the anticipated REDD+ climate change mitigation mechanism. *iForest* (4):1-6
http://www.sisef.it/iforest/pdf/Sasaki_556.pdf

Schoene, D., W. Killmann, H. von Lupke y M. Loyche Wilkie. 2007. Definitional issues related to reducing and emissions from deforestation in developing countries. *Forest and Climate Change Working Paper 5*. Roma, Italia. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j9345e/j9345e00.pdf>.

Spatial Analysis Team. No Date. Ground-truthing protocol. Landscape mosaics. CIFOR-ICRAF Biodiversity Platform. Documento no publicado. Disponible en: http://gisweb.ciat.cgiar.org/GoogleDocs/FPP_Mapper/groundtruth_protocol.pdf

Stanley, B., P. Gonzalez S. Brown, J. Henman, S. Woodhouse Murdock, N. Sampson, T. Pearson, Sarah Walker, Z. Kant, M. Calmon. 2006. *Technical Progress Report on Application and Development of Appropriate Tools and Technologies for Cost-Effective Carbon Sequestration*. Informe Trimestral. Enero a Marzo. The Nature Conservancy. Arlington, Virginia. 69p. <http://www.osti.gov/bridge/purl.cover.jsp;jsessionid=7012DB968FD2670E2153EF3632AADDEA?purl=/882443-NvUHOL/>

Swallow, B., M. van Noordwijk, S. Dewi, D. Murdiyarso, D. White, J. Gockowski, G. Hyman, S. Budidarsono, V. Robiglio, V. Meadu, A. Ekadinata, F. Agus, K. Hairiah, P. Mbile, D.J. Sonwa, S. Weise. 2007. Opportunities for Avoided Deforestation with Sustainable Benefits. Nairobi: ASB Partnership for Tropical Forest Margins.

van Noordwijk M, S. Dewi, B. Swallow, H. Purnomo, D. Murdiyarso. 2007. Avoided Deforestation with Sustainable Benefits (ADSB) in Indonesia-research brief . Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office. Disponible en: http://worldagroforestry.org/sea/publications?do=view_pub_detail&pub_no=LE0075-07

van Noordwijk, M., P.A. Minang. 2009. "If we cannot define it, we cannot save it" *ASB Policy Brief No. 15*. ASB Partnership for the Tropical Forest Margins, Nairobi, Kenia. Disponible en: www.asb.cgiar.org

Velarde SJ, Ugarte-Guerra J, Rüginitz Tito M, Capella JL, Sandoval M, Hyman G, Castro A, Marín JA y Barona E. 2010. *Reducción de emisiones de todos los Uso de la tierra. Reporte del Proyecto REALU Perú Fase 1*. ICRAF Working Paper No. 110. ASB – World Agroforestry Centre (ICRAF). Lima, Perú.

White, D., S.J. Velarde, J.C. Alegre, T.P. Tomich (Eds.), 2005. *Alternatives to Slash-and-Burn (ASB) in Peru, Summary Report and Synthesis of Phase II*. Monograph. Alternatives to Slash-and-Burn, Nairobi, Kenya. http://www.asb.cgiar.org/PDFwebdocs/White_et_al_2005_ASB-Peru.pdf

White, D., G. Hyman. 2009. What are the Opportunity Costs of Reducing Carbon Emissions from Deforestation? An Amazon Case study in Ucayali, Peru. CIAT and ASB: Cali, Colombia and Nairobi, Kenya. 35p