

Módulo 2.1: Seguimiento de los datos de actividad en los bosques con detección remota

Autores del módulo:

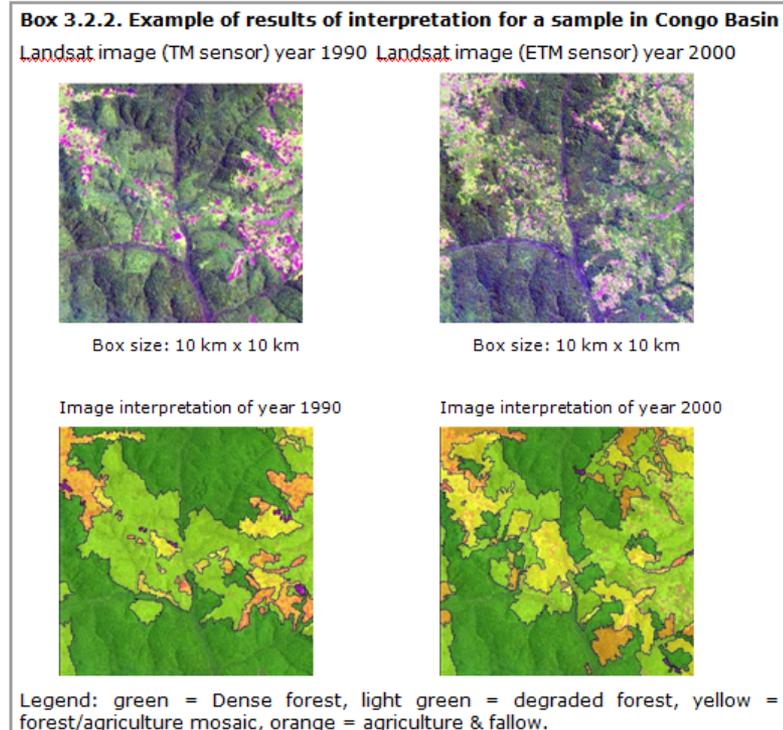
Frédéric Achard, Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea (CE),

Jukka Miettinen, CCI de la CE

Brice Mora, Universidad de Wageningen

Al finalizar el curso, los participantes deben ser capaces de lo siguiente:

- Diferenciar entre distintos enfoques (de detección remota) para rastrear cambios en las áreas forestales
- Realizar un análisis del cambio del área forestal con los datos satelitales de Landsat



Fuente: *Sourcebook* de GOF-C-GOLD, 2014, recuadro 3.2.2.

V1, mayo de 2015

Material de referencia

- Sistema de observación mundial de la dinámica de la cubierta forestal y la cubierta terrestre (GOFC-GOLD) (2014), *Sourcebook* (Libro de consulta), secciones 1.2, 2.1, 2.7 y 2.9. Sección 3.2 para los ejemplos de países.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (2011), Decisión 1/CP.16, Acuerdos de Cancún.
<http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/spa/07a01s.pdf#page=2>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2003), *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*.
- Iniciativa Mundial de Observación de los Bosques (GFOI) (2014), *Integración de las observaciones por teledetección y terrestres para estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en los bosques: Métodos y orientación de la Iniciativa Mundial de Observación de los Bosques* (Documento sobre métodos y orientación [DMO]), secciones 2.2.1 y 3.



Esquema de la conferencia

1. Introducción
2. Selección de un enfoque de seguimiento
3. Clasificación y análisis de imágenes
4. Evaluación de la exactitud
5. Limitaciones en el uso de datos satelitales



Esquema de la conferencia

1. Introducción

2. Selección de un enfoque de seguimiento

3. Clasificación y análisis de imágenes

4. Evaluación de la exactitud

5. Limitaciones en el uso de datos satelitales



Requisitos del IPCC para medir e informar los cambios en el área forestal (1/2)

- Se han seleccionado las metodologías del IPCC y los principios de presentación de informes de la CMNUCC como base para el futuro mecanismo de reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques y la función de la conservación, gestión sostenible de los bosques y aumento de las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo (REDD+).
- Las metodologías del IPCC apuntan a la presentación de informes completos, precisos, transparentes, coherentes y comparables de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) (p. ej., cambios en las áreas forestales).
- La presentación de informes también supone incluir una descripción detallada del enfoque utilizado en el inventario y de las mejoras previstas.

Consulte el módulo 3.3 para más detalles acerca de la presentación de informes sobre el desempeño en las actividades de REDD+.



Requisitos del IPCC para medir e informar los cambios en el área forestal (2/2)

- Las orientaciones del IPCC hacen referencia a dos tipos de datos básicos con los cuales se deben calcular los inventarios de gases de efecto invernadero: los **datos de actividad** y los **factores de emisión**.
- Para los datos de actividad, se recomienda emplear información sobre conversión de la tierra espacialmente explícita, obtenida mediante técnicas de muestreo o de mapeo completo.



Función clave de la observación de la Tierra en el seguimiento de los bosques tropicales

- Los requisitos fundamentales de los sistemas nacionales de vigilancia son los siguientes:
 - i. Medir los cambios en toda el área boscosa.
 - ii. Utilizar metodologías congruentes a intervalos repetidos para obtener resultados exactos.
 - iii. Verificar los resultados con observaciones basadas en el terreno o de muy alta resolución.
- La única solución práctica para implementar dichos sistemas de vigilancia en países tropicales con áreas forestales a menudo poco accesibles es a través de la interpretación de datos detectados en forma remota y respaldados por observaciones basadas en el terreno.



Problemas que afectan la selección e implementación de un enfoque de seguimiento

- Los enfoques adecuados y confiables para el seguimiento forestal a escala nacional son diversos. Los problemas que afectan el diseño de un sistema de seguimiento incluyen, por ejemplo:
 - I. Circunstancias nacionales, en especial definiciones y fuentes de datos existentes
 - II. Decisión sobre el enfoque de evaluación del cambio, definido por:
 - a. Imágenes satelitales
 - b. Muestreo o mapeo completo
 - c. Interpretación totalmente visual o semiautomatizada
 - d. Evaluación de la exactitud o de la congruencia
 - III. Recursos disponibles:
 - i. Recursos de *hardware* y *software*
 - ii. Capacitación necesaria



Esquema de la conferencia

1. Introducción

2. Selección de un enfoque de seguimiento

3. Clasificación y análisis de imágenes

4. Evaluación de la exactitud

5. Limitaciones en el uso de datos satelitales



Datos de actividad necesarios

- Según las decisiones del país sobre el enfoque que se utilizará, es posible que se requieran algunos de los siguientes tipos de mapas/datos de actividad para informar sobre los cambios en la cubierta forestal:
 - Mapa forestal/no forestal (+ mapas de cambios)
 - Mapa de cubierta terrestre/uso de la tierra en el país (+ mapas de cambios)
 - Estratificación de los bosques
 - Mapa de cambios en las tierras forestales (consulte el módulo 2.2)
- Es necesario seleccionar un enfoque de seguimiento que permita generar los datos de actividad requeridos en las condiciones específicas del país.



Definición de bosque (1/2)

- Actualmente, las partes del Anexo I utilizan la definición de bosque y deforestación de la CMNUCC adoptada para la implementación de los artículos 3.3 y 3.4 del Protocolo de Kyoto.
- La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) utiliza como definición una cubierta mínima del 10 %, una altura de 5 m para los árboles y una superficie de 0,5 ha, e indica también que el uso de la tierra predominante en el área debe ser el uso forestal.
- Para el Protocolo de Kyoto, las partes deben seleccionar un valor único de área de copas, altura de los árboles y superficie, dentro de los siguientes rangos:
 - Área mínima del bosque: entre 0,05 ha y 1 ha
 - Árboles con potencial de alcanzar *in situ* en la madurez una altura mínima de entre 2 m y 5 m
 - Cubierta mínima de las copas de los árboles: 10 %-30 %



Definición de bosque (2/2)

- Actualmente no hay acuerdo sobre la definición de bosque en el marco de REDD+.
- Los países pueden elegir su propia definición de bosque en tanto la expliciten claramente.
- Tenga en cuenta que las imágenes de detección remota permiten observar la **cubierta terrestre**; se necesita información de campo para deducir el **uso de la tierra**.



Designación del área forestal

- Idealmente, se llevarán a cabo evaluaciones exhaustivas para identificar las áreas forestales de acuerdo con las definiciones de bosque de la CMNUCC.
- Como alternativa, podrían utilizarse los mapas de bosques ya existentes que correspondan a momentos relativamente recientes para identificar la extensión total del bosque.

Principios importantes para identificar la extensión del bosque:

- El área debe incluir todos los bosques dentro de las fronteras nacionales.
- Para rastrear todos los cambios forestales producidos durante el período de evaluación, se debe utilizar de manera coherente una misma extensión total del bosque.



Selección de imágenes satelitales

- Para hacer el seguimiento de la deforestación, se dispone de muchos tipos diferentes de datos recogidos por sensores ópticos, de diversas resoluciones y costos.
- La selección del tipo de datos satelitales depende de las circunstancias nacionales (tipo de bosques, tamaño del país, estacionalidad, fondos disponibles, etc.).
- En la próxima diapositiva se enumeran los tipos de datos satelitales más comúnmente utilizados para el seguimiento de la cubierta forestal, y se incluye también un resumen de su utilidad para diversos fines.



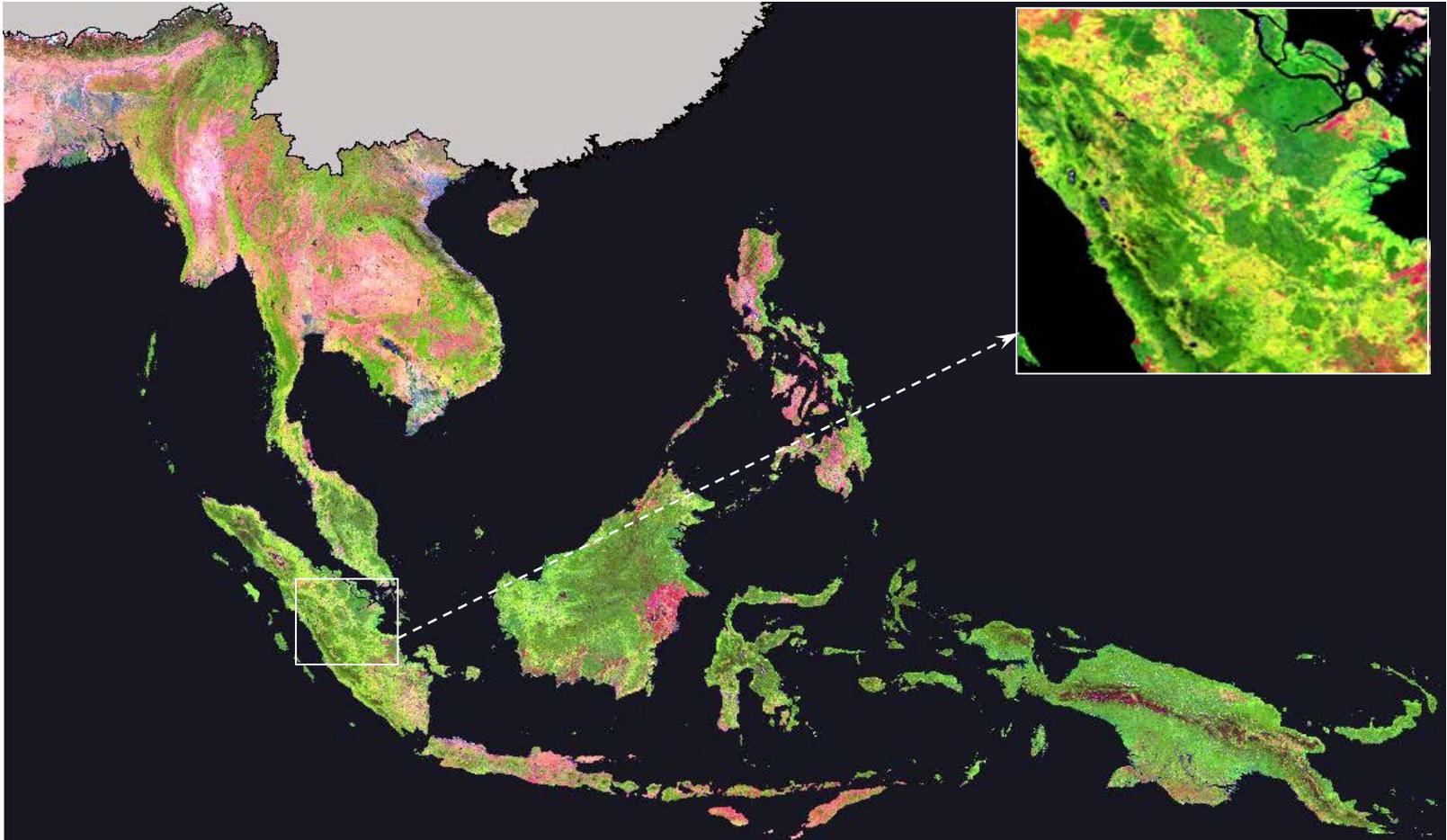
Utilidad de los sensores ópticos de diversas resoluciones para la vigilancia de la deforestación

Resolución	Ejemplos de sensores	Unidad de mapeo mínima (cambio)	Costo	Utilidad principal para la vigilancia de la deforestación
Gruesa (250–1000 m)	SPOT-VGT Terra-MODIS Envisat-MERIS Suomi NPP - VIIRS	~ 100 ha ~ 10–20 ha	Bajo o gratuito	Vigilancia pantropical anual coherente para identificar grandes espacios abiertos y ubicar los “puntos críticos” para el análisis ulterior.
Media (10-60 m)	Landsat TM, ETM+ y OLI Terra-ASTER IRS AWiFs o LISS III CBERS HRCCD DMC SPOT HRV ALOS AVNIR-2 Sentinel-2 MSI (2015→)	0,5–5 ha	Landsat & CBERS son gratuitos. Para los otros: <US\$0,001/km ² para registros históricos, de US\$0,02/km ² a US\$0,5/km ² para datos recientes	Herramienta principal para mapear la deforestación y estimar cambios en las áreas forestales.
Fina (<5 m)	RapidEye IKONOS QuickBird Fotos aéreas	< 0,1 ha	Alto a muy alto, de US\$2/km ² a US\$30/km ²	Validación de resultados obtenidos del análisis de resoluciones más gruesas y entrenamiento de algoritmos.

Fuente: *Sourcebook*, GOF-C-GOLD, 2014, cuadro 2.1.1.



Ejemplo de imagen compuesta del sudeste de Asia tomada por SPOT VGT con 1 km de resolución para el año 2000

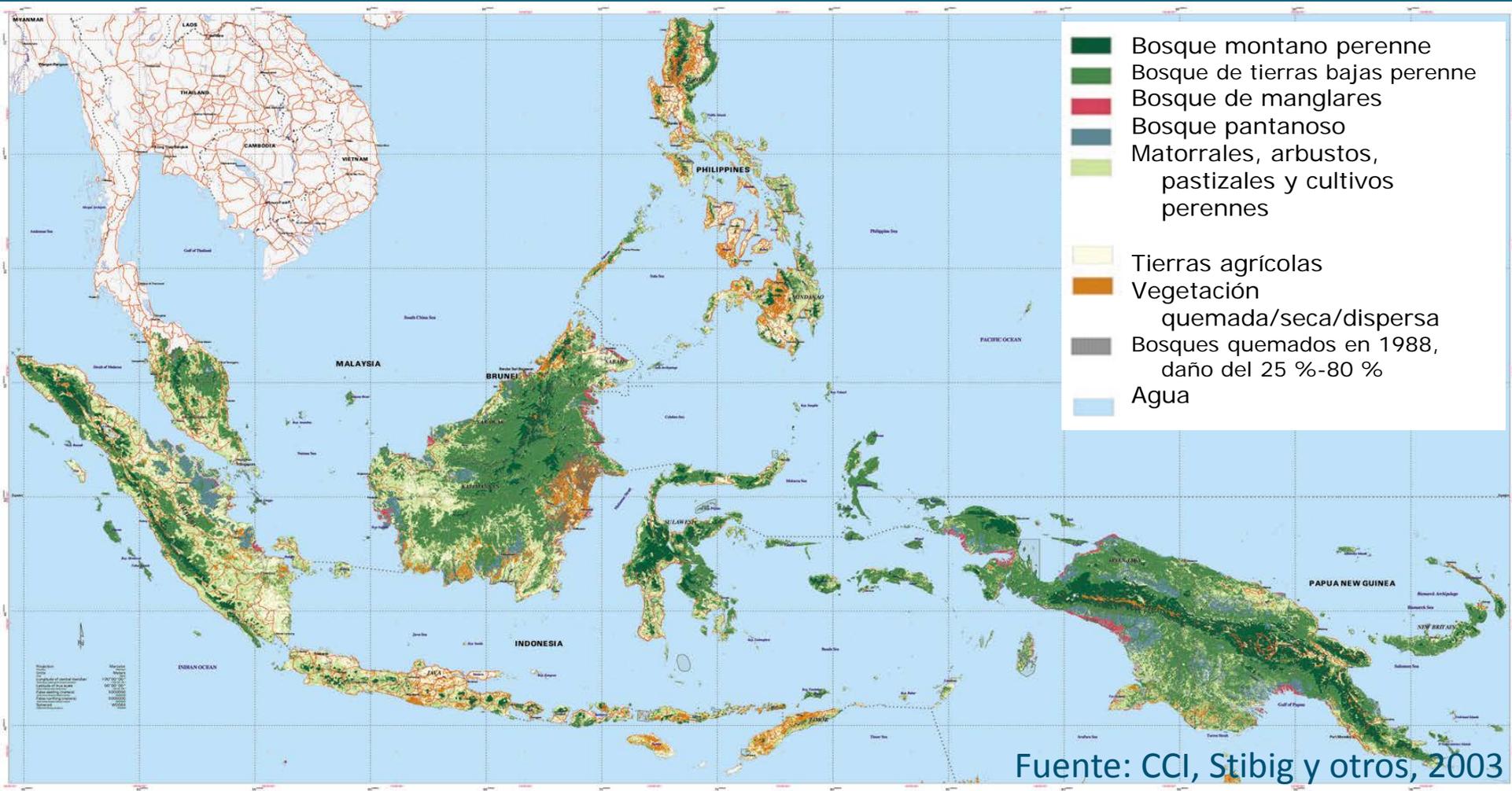


Fuente: CCI, Stibig y otros, 2003



*Módulo 2.1: Seguimiento de los datos de actividad en los bosques con detección remota
Materiales de capacitación del libro de consulta sobre REDD+ de GOFC-GOLD, Universidad de
Wageningen, FCPF del Banco Mundial*

Ejemplo de mapa de cubierta forestal de la zona insular del sudeste de Asia elaborado a partir de imágenes de SPOT VGT con una resolución de 1 km



Fuente: CCI, Stibig y otros, 2003



Módulo 2.1: Seguimiento de los datos de actividad en los bosques con detección remota
Materiales de capacitación del libro de consulta sobre REDD+ de GOF-C-GOLD, Universidad de Wageningen, FCPF del Banco Mundial

Ejemplo de mapa de cubierta forestal elaborado a partir de imágenes de Landsat TM de 30 metros sobre un sitio de Brasil

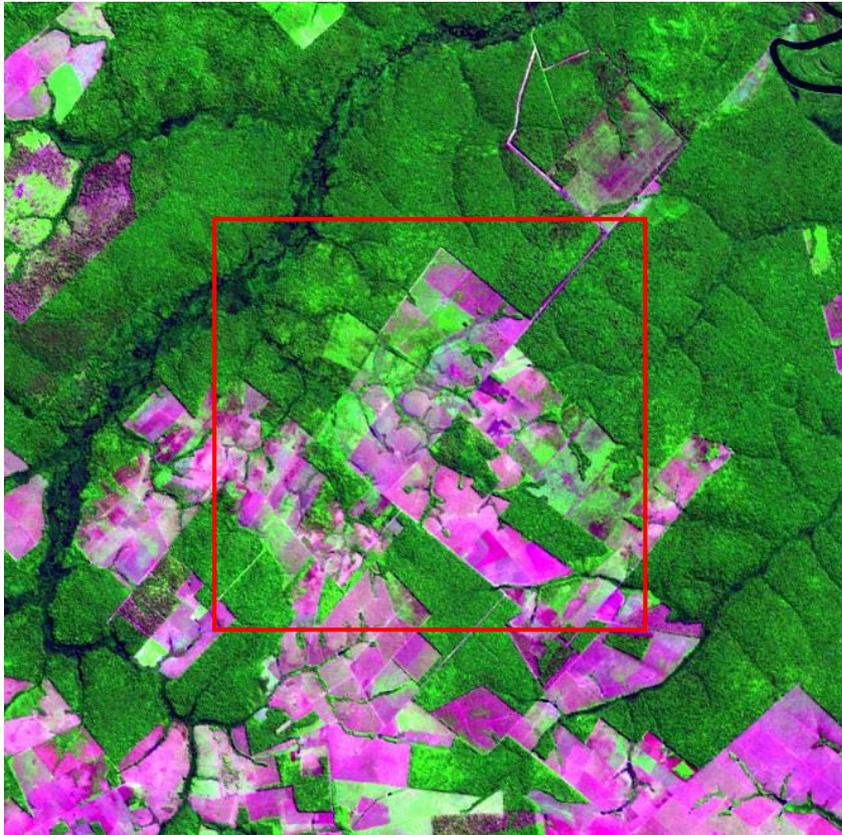


Imagen de Landsat-5 TM del 15 de junio de 2005: Extracto de 20 km x 20 km

- Referencias**
-  Cubierta de árboles
 -  Mosaico de cubierta de árboles
 -  Otro terreno maderero
 -  Otra cubierta terrestre



Mapa de cubierta forestal
Tamaño de ventana de 10 km x 10 km
Centrado a 12°S, 58°W

Fuentes: USGS 2015;
Eva y otros, 2012.



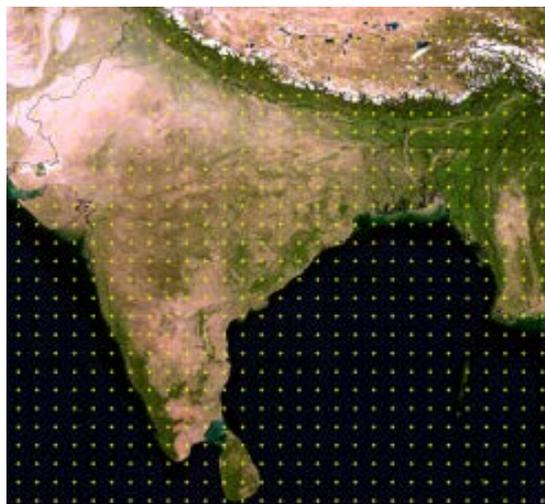
Decisión entre el uso de la cobertura completa o la cobertura por muestreo

- La cobertura completa es el método habitual cuando resulta adecuado en función de las circunstancias nacionales.
- Si los recursos no son suficientes para realizar una cobertura completa, en los países de gran extensión el muestreo resulta más eficiente.
- Los métodos de muestreo recomendados son el sistemático y el estratificado. Consulte *Sourcebook* de GOFC-GOLD (2012, recuadro 2.1.2) y la diapositiva siguiente.
- El muestreo empleado en un determinado período de estudio podría extenderse a una cobertura completa en el período posterior.



Muestreo sistemático y estratificado

- En el muestreo sistemático se obtienen muestras a intervalos regulares, p. ej., una cada 10 km.
- Las muestras estratificadas se distribuyen sobre la base de variables sustitutas obtenidas a partir de los datos satelitales de resolución gruesa o combinando otra información con referencia geográfica o de mapas.



Diseño de muestreo sistemático



Diseño de muestreo estratificado

Fuente: *Sourcebook* de GOF-C-GOLD, 2013, recuadro 2.1.2.



Esquema de la conferencia

1. Introducción
2. Selección de un enfoque de seguimiento
- 3. Clasificación y análisis de imágenes**
4. Evaluación de la exactitud
5. Limitaciones en el uso de datos satelitales

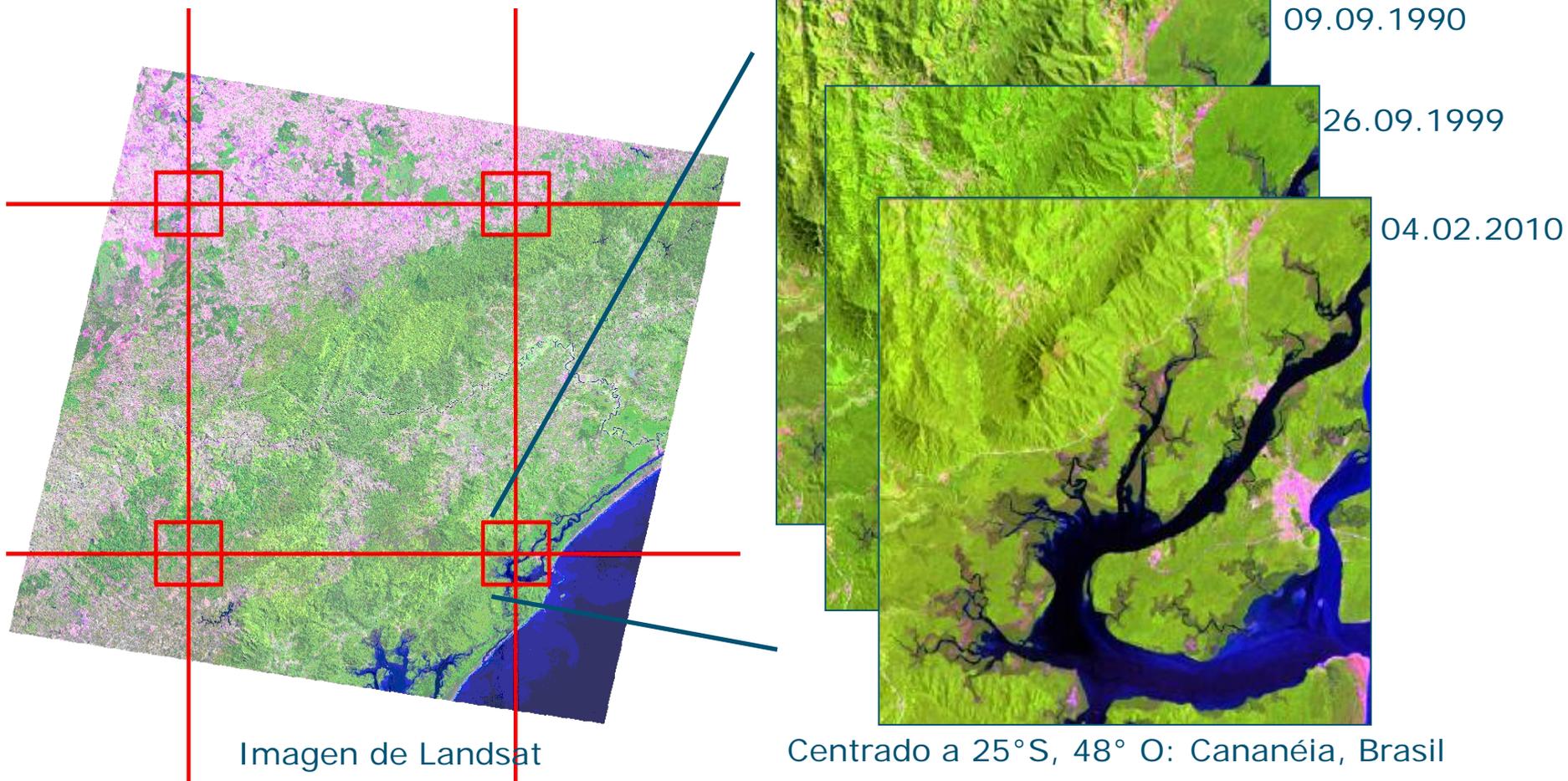


Procesamiento de los datos satelitales

- Correcciones geométricas:
 - El error de ubicación debe ser <1 píxel; se pueden utilizar los conjuntos de datos de referencia (p. ej., de la Encuesta Terrestre Mundial [GLS]) como alternativa a los puntos de control terrestre (GCP) o al registro de imagen a imagen.
- Enmascaramiento de nubes y sombras de nubes:
 - Métodos automatizados o visuales para garantizar que la interpretación de las imágenes sea significativa.
- Correcciones radiométricas:
 - Dependen del método utilizado para la interpretación de las imágenes, no son necesarias en la interpretación visual de una escena única pero son fundamentales en el análisis multitemporal automatizado.



Corrección geométrica: ejemplo del uso del conjunto de datos de GLS para el corregistro de imagen a imagen



Fuente: USGS, 2015, conjunto de datos de GLS.



Análisis de los datos satelitales

- La selección del método de interpretación de imágenes depende de los recursos disponibles.
- Sea cual fuere el método que se ha seleccionado, los resultados deben poder ser repetidos por diferentes analistas.
- Incluso en un proceso totalmente automatizado, un analista familiarizado con la región debe realizar una inspección visual del resultado para garantizar una interpretación apropiada.
- En la próxima diapositiva se enumeran los principales tipos de métodos disponibles para los conjuntos de datos de resolución ~30 m (*Sourcebook* de GOFC-GOLD, 2013, cuadro 2.1.3), y en las diapositivas siguientes se destacan algunos aspectos importantes de enfoques seleccionados.



Principales métodos de análisis para imágenes de resolución moderada (~ 30 m)

Method for delineation	Method for class labeling	Practical minimum mapping unit	Principles for use	Advantages / limitations
Point interpretation (points sample)	Visual interpretation	< 0.1 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date preferable to single date interpretation - On screen preferable to printouts interpretation 	<ul style="list-style-type: none"> - closest to classical forestry inventories - very accurate although interpreter dependent - no map of changes
Visual delineation (full image)	Visual interpretation	5 – 10 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date analysis preferable - On screen digitizing preferable to delineation on printouts 	<ul style="list-style-type: none"> - easy to implement - time consuming - interpreter dependent
Pixel based classification	Supervised labeling (with training and correction phases)	<1 ha	<ul style="list-style-type: none"> - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable - filtering needed to avoid noise 	<ul style="list-style-type: none"> - difficult to implement - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	<1 ha	<ul style="list-style-type: none"> - interdependent (multiple date) labeling preferable - filtering needed to avoid noise 	<ul style="list-style-type: none"> - difficult to implement - noisy effect without filtering
Object based segmentation	Supervised labeling (with training and correction phases)	1 - 5 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date segmentation preferable - selection of common spectral training set from multiple dates / images preferable 	<ul style="list-style-type: none"> - more reproducible than visual delineation - training phase needed
	Unsupervised clustering + Visual labeling	1 - 5 ha	<ul style="list-style-type: none"> - multiple date segmentation preferable - interdependent (multiple date) labeling of single date images preferable 	<ul style="list-style-type: none"> - more reproducible than visual delineation

Fuente: *Sourcebook*, GOF-C-GOLD 2013, cuadro 2.1.3.



Delimitación visual de entidades terrestres

- La delimitación visual de las entidades terrestres es un enfoque viable para el seguimiento del área forestal, en especial si las herramientas y la experiencia en el análisis de imágenes son limitadas.
- No se recomienda la delimitación visual de entidades terrestres en las impresiones (utilizadas en otros tiempos); es preferible la delimitación en pantalla, pues produce directamente resultados digitales.
- Cuando se delimitan visualmente las entidades terrestres, también se las debe etiquetar visualmente.



Segmentación de imágenes con varias fechas

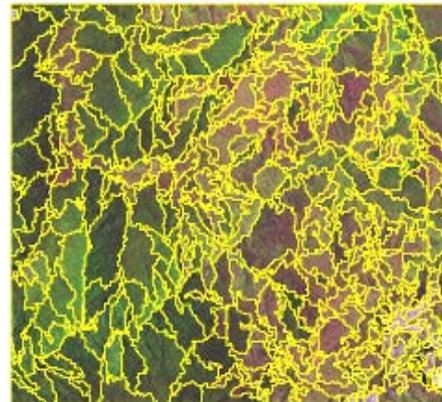
- La segmentación automatizada reduce el tiempo de procesamiento y aumenta el detalle.
- Es objetiva y puede repetirse.
- Delimita las áreas modificadas como segmentos separados.
- Idealmente, el proceso de análisis incluye:
 - i. Segmentación de imágenes de varias fechas en pares de imágenes
 - ii. Selección del área/clase de entrenamiento de firmas
 - iii. Agrupamiento supervisado de imágenes individuales
 - iv. Verificación visual y posible edición



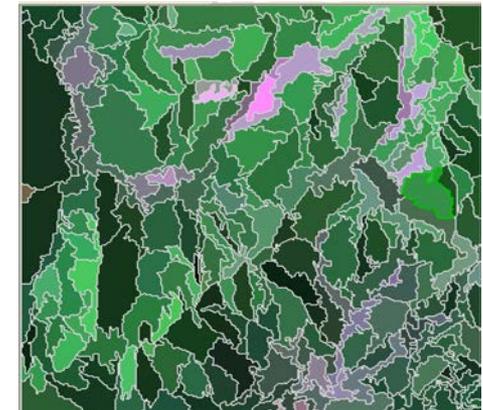
Ejemplo de segmentación semiautomática de varias fechas y etiquetado del cambio



Segmentación en pares



Etiqueta automática del cambio



Fuentes: USGS 2015, conjunto de datos de GLS; Bodart y otros, 2011; y Raši y otros, 2011.



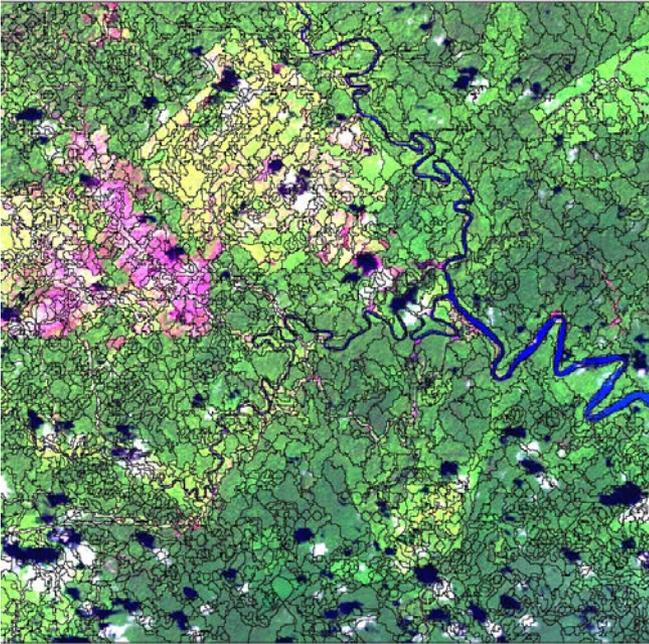
Clasificación digital de segmentos de imágenes

- La clasificación digital/automática se aplica solo en el caso de los segmentos delineados automáticamente.
- Se recomiendan dos clasificaciones supervisadas de objetos, ejecutadas por separado en las dos imágenes de varias fechas, en lugar de realizar una sola clasificación supervisada del objeto en el par de imágenes.
- Sería ideal utilizar un conjunto estándar predefinido de datos de entrenamiento de firmas espectrales para cada tipo de ecosistema para crear mapas forestales iniciales automatizados.
- Los métodos de clasificación supervisada se consideran más eficientes que las técnicas de agrupamiento sin supervisión en los casos en que se cuenta con una gran cantidad de imágenes.

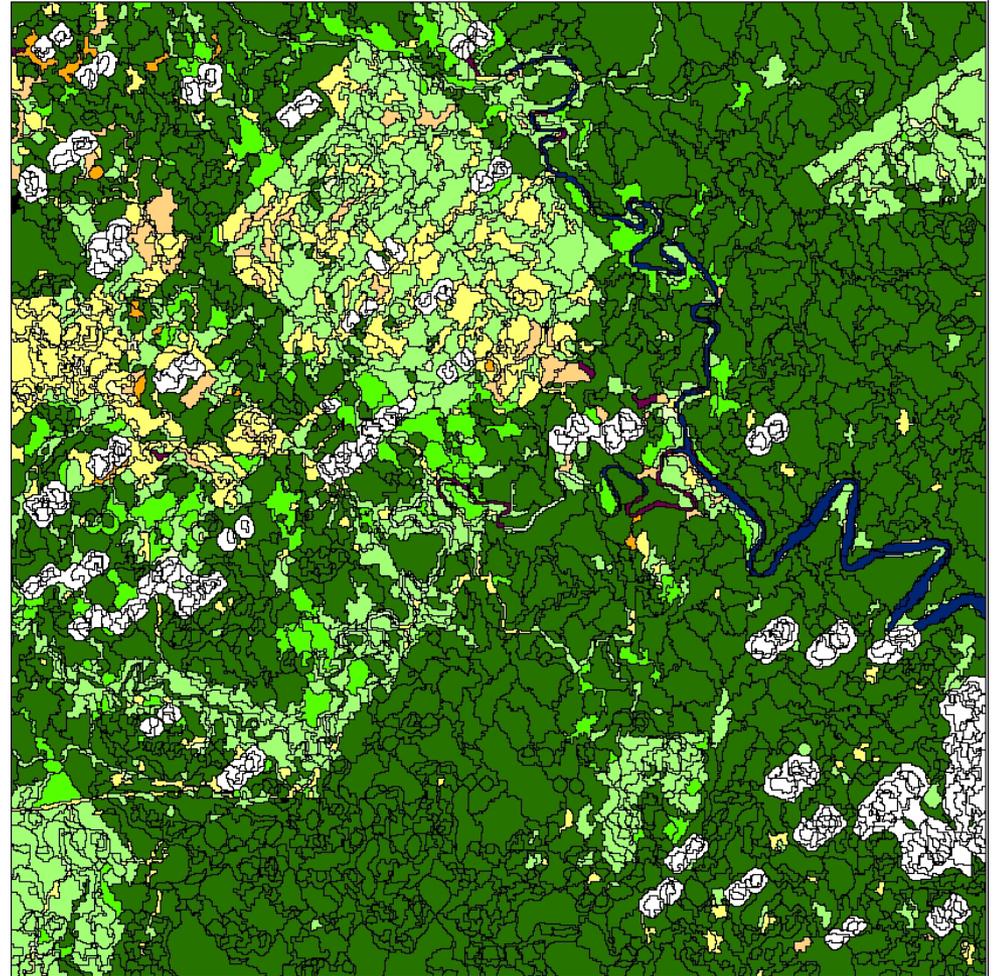


Ejemplo de clasificación automática con la base de datos de firmas

a)



b)



a) Segmentación multitemporal (2000–2010)

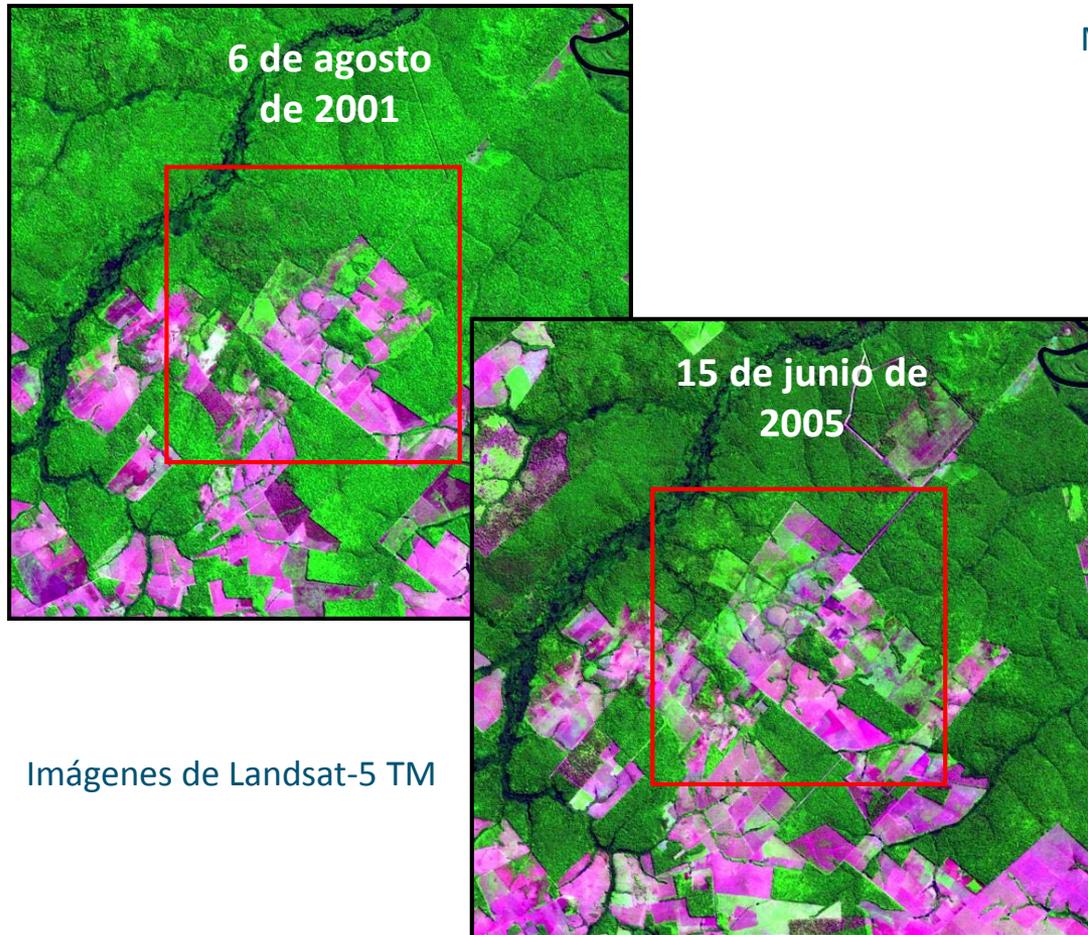
b) Clasificación automatizada de la imagen de Landsat del año 2000 según la base de datos de firmas

Fuentes: USGS 2015, conjunto de datos de GLS; Bodart y otros, 2011; y Raši y otros, 2011.

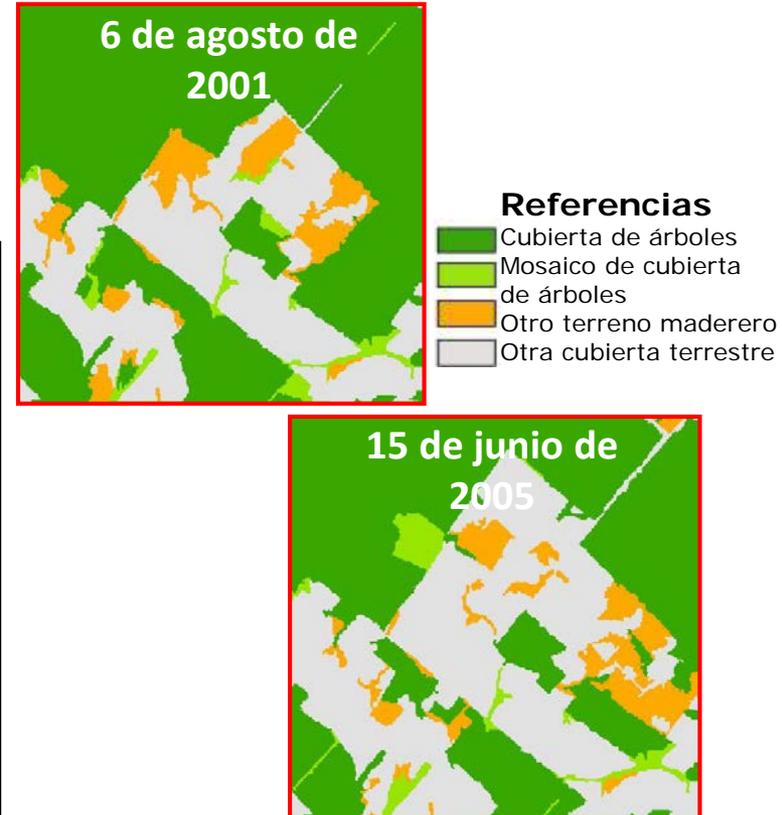
Referencias

	Cubierta de árboles
	Arbusto y regeneración
	Pasto, herbáceo

Ejemplo de cambio de la cubierta forestal detectado a partir de imágenes de Landsat TM sobre un sitio de Brasil



Mapas de cubierta terrestre de 2001 a 2005



Fuentes: USGS 2015, conjunto de datos de GLS; Eva y otros, 2012.



Verificación visual

- La verificación (o clasificación) visual es indispensable.
- En la verificación se deben aprovechar los pares de imágenes.
- Los mapas existentes pueden utilizarse como apoyo.
- Se prefieren los pares de imágenes individuales a los mosaicos de imágenes.
- Se deben tener en cuenta las características espectrales, espaciales y temporales (estacionalidad) de los bosques.

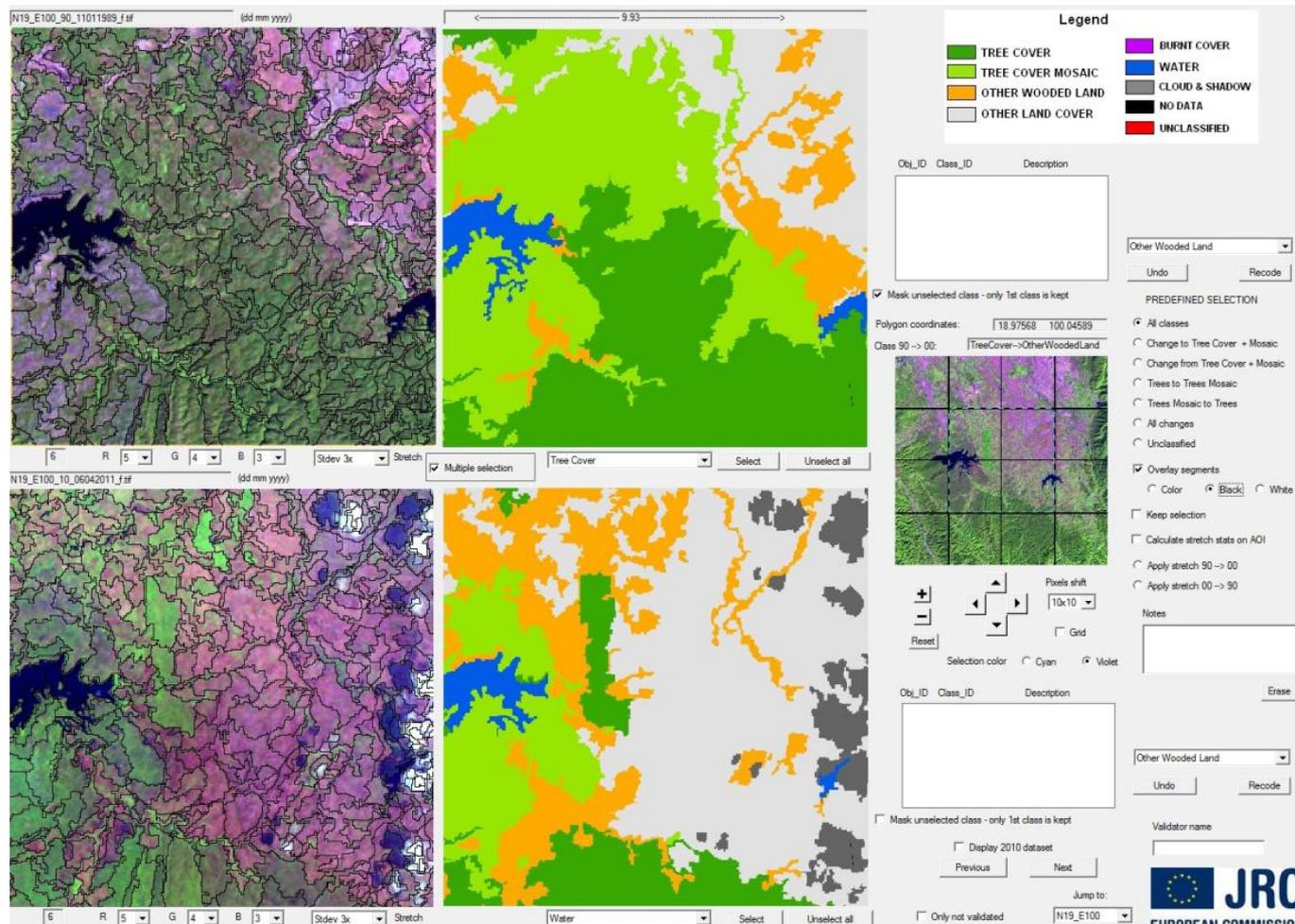


Ejemplo de validación visual de los resultados de la evaluación automatizada de CCI-FAO

Validación del experto con una herramienta de validación adaptada

Control e interpretación visual del mapeo automatizado

Fuente: USGS 2015, conjunto de datos de GLS; CCI; Simonetti y otros, 2011



Esquema de la conferencia

1. Introducción
2. Selección de un enfoque de seguimiento
3. Clasificación y análisis de imágenes
- 4. Evaluación de la exactitud**
5. Limitaciones en el uso de datos satelitales



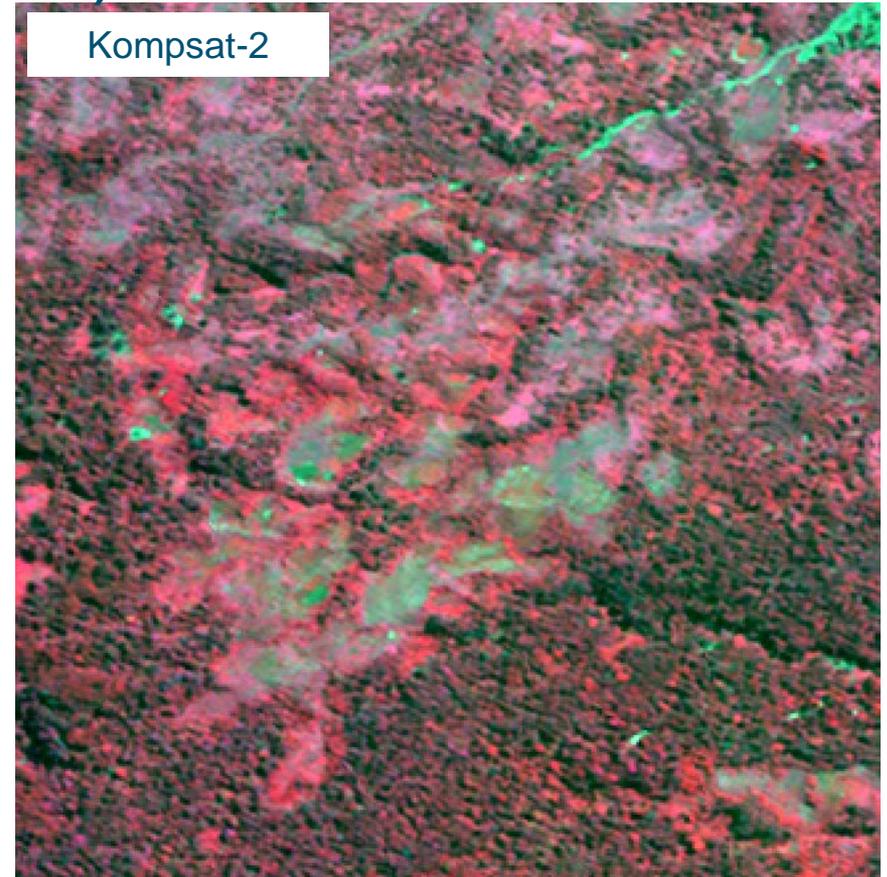
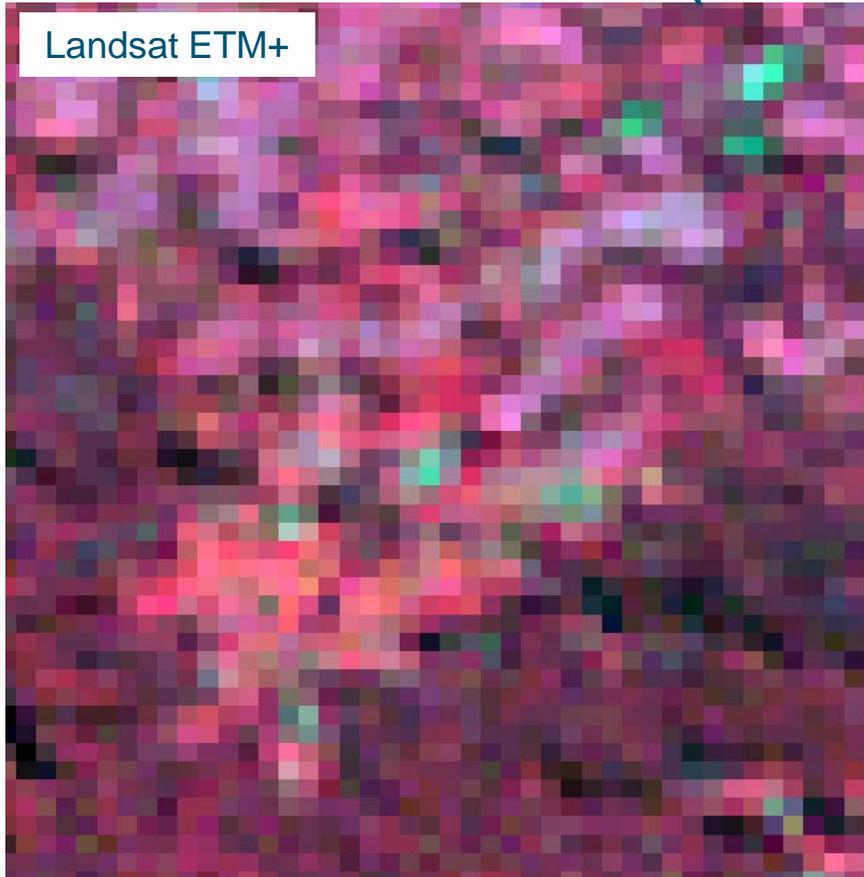
Conceptos básicos de una evaluación de exactitud

- La presentación de información sobre la exactitud y la verificación de los resultados es un componente fundamental de un sistema de vigilancia.
- La evaluación de exactitud debe basarse en los datos de mayor calidad, p. ej., observaciones *in situ* o análisis de datos de muy alta resolución recogidos por satélites o aeronaves.
- Es necesario prestar atención al momento al que corresponden los conjuntos de datos de referencia, de modo tal que coincidan con el conjunto de datos que se ha utilizado para el mapeo de la cubierta forestal.
- Idealmente, debe utilizarse un procedimiento de muestreo estadísticamente válido para determinar la exactitud; esto debe conducir a una descripción cuantitativa de la incertidumbre de las estimaciones del área forestal.



Ejemplo de la utilidad de imágenes de muy alta resolución en la evaluación de exactitud

Comparación entre la resolución de 30 m de LANDSAT y los 4 m de Kompsat-2 (RGB: NIR-R-G)



Fuente: USGS, 2015, conjunto de datos de GLS; proyecto de TropForest de ESA/CCI (Kompsat).



Consideraciones para la presentación de informes

- Como las áreas de cambio de la cubierta terrestre son importantes factores que impulsan las emisiones, es esencial estimar estas áreas con la mayor precisión posible.
- Se pueden utilizar los resultados de una evaluación rigurosa de la exactitud para ajustar las estimaciones del área y calcular las incertidumbres para las áreas de cada clase.
- Si no puede aplicarse un enfoque estadístico, se puede utilizar la información obtenida a través de otros medios para comprender la exactitud del mapa. Dicha información puede incluir:
 - Comparaciones con otros mapas
 - Revisión y análisis sistemáticos a cargo de expertos locales
 - Comparaciones con estadísticas no espaciales



Esquema de la conferencia

1. Introducción
2. Selección de un enfoque de seguimiento
3. Clasificación y análisis de imágenes
4. Evaluación de la exactitud
- 5. Limitaciones en el uso de datos satelitales**

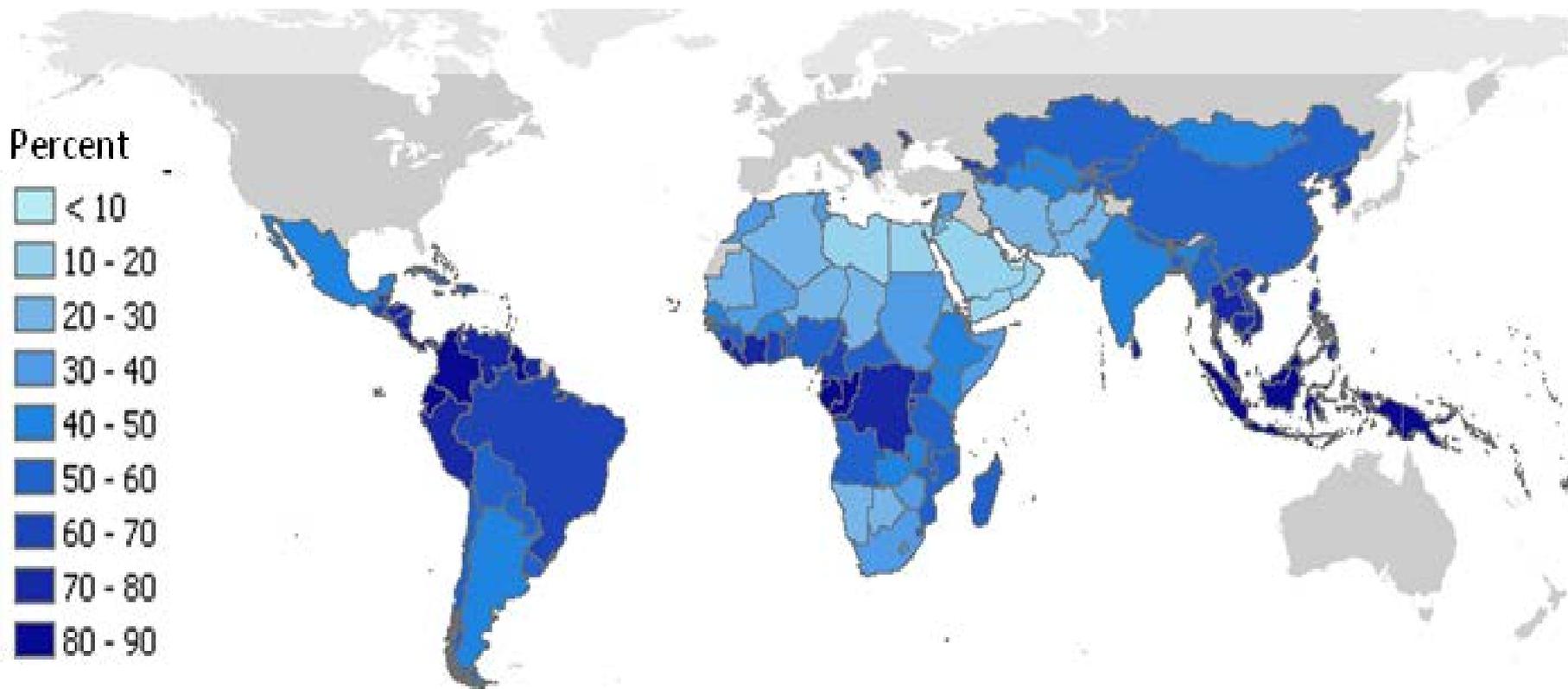


Fuentes importantes de limitaciones

- Nubes y sombras de nubes
- Otros efectos atmosféricos (p. ej., bruma y humo)
- Efecto de la topografía en la reflectancia
- Frecuencia insuficiente de las observaciones (p. ej., trópicos húmedos)
- Escasez de datos históricos
- Concesiones mutuas entre resolución espacial y alcance de la cobertura
- Problemas de comparabilidad entre sensores (p. ej., en series temporales históricas)



Fuentes importantes de limitaciones: cubierta nubosa



Cubierta nubosa anual media basada en el producto de MODIS M3 (media de fracción de nube) y en el Archivo Editado y Extendido de Informes sobre Nubosidad (EECRA)
Fuente: Herold, 2009.



Fuentes importantes de limitaciones: escasez de datos históricos

Año de
adquisición
real para el
año objetivo
1990

Año de
adquisición
real para el
año objetivo
2000

Fuente: CCI; Beuchle y otros, 2011



En resumen

- Las orientaciones del IPCC y las decisiones de la CMNUCC proporcionan directrices generales que deben utilizarse para elaborar las definiciones nacionales de bosque y los enfoques de seguimiento de las actividades de REDD+.
- Pueden utilizarse numerosos datos y métodos de detección remota para hacer el seguimiento de los datos de actividad en los bosques, preferentemente los siguientes:
 - Análisis de imágenes de varias fechas para detectar cambios
 - Métodos de clasificación supervisada y repetible
 - Verificación visual y evaluación rigurosa de la exactitud de los mapas resultantes
- Incluso con las limitaciones que presenta la observación satelital, la detección remota es indispensable para rastrear los datos de actividad en los bosques de países tropicales.



Ejemplos de países y ejercicios

Ejemplos de países

- Brasil (Programa de Seguimiento de la Deforestación, PRODES)
- India (Relevamiento forestal de India)
- República Democrática del Congo (Muestreo sistemático de CCI-FAO)

Ejercicios

- Uso de datos de la serie temporal de Landsat para obtener estimaciones del cambio del área forestal



Módulos de consulta recomendados

- **Módulo 2.2** para continuar con el seguimiento de los datos de actividad de las tierras forestales que permanecen como tales (incluida la degradación de los bosques)
- **Módulo 2.8** para la descripción general y el estado de las tecnologías en evolución que incluyen, por ejemplo, datos de radar
- **Módulos 3.1 a 3.3** para conocer más sobre la evaluación y la presentación de informes de REDD+



Bibliografía

- Beuchle, R., et al. 2011. "A Satellite Dataset for Tropical Forest Change Assessment." *International Journal of Remote Sensing* 32: 7009–7031. doi:10.1080/01431161.2011.611186.
- Bodart, C., et al. 2011. "Pre-processing of a Sample of Multi-scene and Multi-date Landsat Imagery used to Monitor Forest Cover Changes over the Tropics." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66: 555–563.
- Eva, H. D., et al. 2012. "Forest Cover Changes in Tropical South and Central America from 1990 to 2005 and Related Carbon Emissions and Removals." *Remote Sensing* 4 (5): 1369–1391. doi: 10.3390/rs4051369.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2010. *FAO Forest Resources Assessment of 2010 (FRA)*. Rome: FAO. <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>.
- FAO. 2015. *FAO Forest Resources Assessment of 2015 (FRA)*. Rome: FAO. <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2015/en/>.
- GFOI (Global Forest Observations Initiative). 2014. *Integrating Remote-sensing and Ground-based Observations for Estimation of Emissions and Removals of Greenhouse Gases in Forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative*. (Often GFOI MGD.) Geneva, Switzerland: Group on Earth Observations, version 1.0. <http://www.gfoi.org/methods-guidance/>.



- GOFC-GOLD (Global Observation of Forest Cover and Land Dynamics). 2014. *A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring and Reporting Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions and Removals Associated with Deforestation, Gains and Losses of Carbon Stocks in Forests Remaining Forests, and Forestation*. (Often GOFC-GOLD Sourcebook.) Netherland: GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University. <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/index.php>.
- Hansen, M. C., et al. 2013. "High-resolution Global Maps of 21st-century Forest Cover Change." *Science* 342: 850–853.
- Herold, M. 2009. *An Assessment of National Forest Monitoring Capabilities in Tropical Non-annex I Countries: Recommendations for Capacity Building*. Report for The Prince's Rainforests Project and The Government of Norway. Friedrich-Schiller-Universität Jena and GOFC-GOLD. http://princes.3cdn.net/8453c17981d0ae3cc8_q0m6vsqxd.pdf
- IPCC, 2003. *2003 Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (eds.). Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html> (Often referred to as IPCC GPG)
- Raši, R., et al. 2011. "An Automated Approach for Segmenting and Classifying a Large Sample of Multi-date Landsat-type Imagery for pan-Tropical Forest Monitoring." *Remote Sensing of Environment* 115: 3659–3669.



- Simonetti, D., et al. 2011. *User Manual for the JRC Land Cover/Use Change Validation Tool*. EUR - Scientific and Technical Research Reports. Brussels: Publications Office of the European Union. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/16104>.
- Stibig, H.J., et al. 2003. "Mapping of the Tropical Forest Cover of Insular Southeast Asia from SPOT4-Vegetation Images." *International Journal of Remote Sensing* 24 (18): 3651–3662.
- USGS (US Geological Survey). 2015. Global Land Survey (GLS) Datasets. Last modified April 20, 2015. <http://glovis.usgs.gov/>.

