

ENCUESTA DE TELEDETECCIÓN DE FRA 2010

UN BOSQUEJO DE OBJETIVOS,
DATOS, MÉTODOS Y ENFOQUE

DICIEMBRE DE 2009





El Programa de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales

Los bosques manejados de manera sostenible tienen múltiples funciones ambientales y socioeconómicas importantes en los ámbitos mundial, nacional, y local, ya que desempeñan un papel vital en el desarrollo sostenible. Se requiere de información confiable y actualizada acerca del estado de los recursos forestales – no sólo en materia del área y cambio de área, sino sobre muchas variables tales como las existencias en crecimiento, productos forestales maderables y no maderables, carbono, áreas protegidas, uso de los bosques para la recreación y otros servicios, la diversidad biológica y la contribución de los bosques a las economías nacionales - es crucial para apoyar la toma de decisiones en materia de programas y políticas en el ámbito forestal y en el desarrollo sostenible en todos sus niveles.

A petición de sus países miembros, la FAO presta un seguimiento regular respecto a los bosques mundiales y su ordenamiento y uso, a través del Programa de Evaluación de Recursos Forestales. La Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA 2010) fue solicitada a la FAO por el Comité Forestal en 2007 y se llevará a cabo basándose en un proceso exhaustivo de elaboración de informes nacionales, complementados por una Encuesta de teledetección. La Evaluación abarcará los siete elementos temáticos del ordenamiento forestal sostenible, incluyendo las variables relacionadas con el marco de trabajo de las políticas, legislación e instituciones. FRA 2010 también tiene el propósito de proporcionar información para facilitar la evaluación del progreso en materia de Objetivos Mundiales sobre los bosques del Foro de las Naciones Unidas sobre Bosques y la Meta del Convenio sobre Diversidad Biológica 2010. Se espera que los resultados sean publicados en 2010.

El Programa de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales es coordinado por el Departamento Forestal en la sede central de la FAO en Roma. La persona de referencia es:

Mette Løyche Wilkie
Oficial Forestal Principal
Departamento Forestal de la FAO
Viale delle Terme di Caracalla
Roma 00153, Italia
Correo electrónico: Mette.LoycheWilkie@fao.org

Los lectores también pueden utilizar la siguiente dirección electrónica: fra@fao.org
Puede encontrar más información acerca del Programa de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales en: www.fao.org/forestry/fra
Los coordinadores de este trabajo desean expresar su reconocimiento por la contribución financiera aportada por la Comisión Europea, los Gobiernos de Australia y Finlandia, y la FAO.

Cita bibliográfica recomendada:

FAO, JRC y SDSU (2009). Encuesta de Teledetección de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010: un bosquejo de objetivos, datos, métodos y enfoque. Documento de Trabajo 155 de la Evaluación de Recursos Forestales. Publicado por FAO con partners de FRA RSS, 2009.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

La Serie de Documentos de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Forestales (FRA) ha sido diseñada para ilustrar las actividades y progreso del Programa FRA de la FAO. Los documentos de Trabajo constituyen fuentes de información informales – ellos no representan ninguna posición oficial de parte de la FAO y no deberían ser utilizados para fines oficiales. Sírvase consultar el sitio Web de la FAO (www.fao.org/forestry) para obtener información de índole oficial.

Este documento ha sido producido con el apoyo financiero de la Comisión Europea. Las opiniones vertidas en él no representan de ninguna manera la opinión oficial de la Comisión Europea.

La Serie de Documentos de Trabajo de FRA proporcionan un foro importante que aporta información rápida relacionada con el programa de FRA. Si los lectores identifican errores en los documentos o desean hacer comentarios para mejorar su calidad, pueden ponerse en contacto con fra@fao.org.

Departamento Forestal
Documento de trabajo de la Organización de las Naciones
Unidas para la Agricultura y la Alimentación

ENCUESTA DE TELEDETECCIÓN DE FRA 2010

**UN BOSQUEJO DE OBJETIVOS,
DATOS, MÉTODOS Y ENFOQUE**

DICIEMBRE, 2009

Índice

Siglas	ii
Reconocimientos	iii
Resumen de Orientación	iv
1 Antecedentes y Justificación	1
1.1 <i>Historia de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales</i>	1
1.2 <i>Necesidad de información precisa y oportuna sobre el área de bosque</i>	1
1.3 <i>¿Porqué la teledetección?</i>	2
1.4 <i>Cubierta y uso de la tierra</i>	3
2 Métodos.....	4
2.1 <i>Cuadrícula de muestreo e imágenes satelitales</i>	4
2.2 <i>Insumos de teledetección</i>	4
2.3 <i>Uso de datos de radar</i>	5
2.4 <i>Procesamiento de datos ópticos, segmentación, clasificación, etiquetamiento y descripción</i>	5
3 Resultados y debate.....	7
3.1 <i>Muestreo estadístico versus cartografía continua</i>	8
3.2 <i>Participación nacional y formación de capacidades</i>	9
4 Conclusión.....	10
Bibliografía.....	11
Otras lecturas.....	12

Siglas

ETM	Instrumento de cartografía temática mejorado del Landsat
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FRA	Evaluación de Recursos Forestales Mundiales
GLS	Encuesta mundial de la tierra
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
JRC	Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea
LCCS	Sistema de clasificación de la cubierta de la tierra de la FAO
MODIS	Espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
REDD	Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación de los Bosques
RSS	Encuesta de Teledetección
SDSU	Universidad Estatal de Dakota del Sur
USGS	Encuesta Geológica de los Estados Unidos
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
VCF	Algoritmo de campos continuos de vegetación

Reconocimientos

La Encuesta de teledetección de FRA 2010 es una alianza realizada entre la FAO, el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea, la Encuesta Geológica de los EE.UU., la NASA, la Universidad Estatal de Dakota del Sur, la Universidad Friedrich-Schiller y muchos expertos nacionales.

Deseamos agradecer a:

Ralph Ridder (Consultor), Adam Gerrand, Erik Lindquist, Mette Wilkie, Rémi D'Annunzio (FAO FRA).

El personal del Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea (JRC) con sus colaboradores de la Universidad Católica de Louvain-La-Neuve (UCL): Frédéric Achard, René Beuchle, Catherine Bodart, Andreas Brink, Silvia Carboni, François Donnay, Hugh D. Eva, Desirée Johansson, Ouns Kissiyar, Andrea Lupi, Philippe Mayaux, Rastislav Raši, Dario Simonetti, Hans-Jürgen Stibig, Michael Vollmar. Jesús San-Miguel-Ayanz, Pieter Kempeneers, Fernando Sedano, Lucia Seebach, Peter Strobl, Peter Vogt (JRC) Pierre Defourny, Céline Ernst, Astrid Verheggen, Carlos de Wasseige (UCL).

Thomas Loveland (USGS), Matt Hansen, Peter Potapov y Anil Kommareddy (Universidad Estatal de Dakota del Sur), John Latham, Renato Cumani, Antonio Di Gregorio, Antonio Martucci, Stefano Giaccio e Ilaria Rosati (FAO NRCE).

Muchos más colaboraron, y no obstante el espacio limitado impida nombrarlos a todos, les instamos a aceptar nuestro agradecimiento. Asimismo deseamos hacer patente que el financiamiento fue otorgado inicialmente mediante asignaciones por parte de la NASA, los gobiernos de Finlandia, Australia, y sucesivamente el financiamiento para 2009-2011 fue otorgado por la Comisión Europea. Para más información sírvase visitar el sitio: <http://www.fao.org/forestry/fra2010-remotesensing/en/>.

Resumen de Orientación

Lo bosques de mundo proporcionan beneficios económicos, sociales y ambientales vitales. Ellos aportan productos forestales maderables y no maderables, sustentan los medios de vida, proporcionan agua limpia y proveen de hábitat a la mitad de las especies del planeta. Sin embargo, cerca de 13 millones de hectáreas de bosque se convierten anualmente a otros usos de la tierra en todo el mundo. La tala de los bosques junto con otras actividades relacionadas con la silvicultura son las responsables de cerca del 17 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico. Los procesos internacionales relacionados con los bosques requieren de información precisa acerca de la cubierta de árboles y los recursos forestales. Desde 1946, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) proporciona información detallada sobre los recursos forestales mundiales, su extensión, condición y usos cada 5 a 10 años. En el marco de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010 (FRA 2010), se ha emprendido una encuesta mundial sistemática y exhaustiva de los bosques basada en imágenes de teledetección.

La Encuesta de Teledetección de FRA 2010 utiliza un satélite de teledetección de la superficie de la Tierra a fin de mejorar la información sobre la cubierta de árboles y el uso de las tierras forestales en todo el mundo. El principal objetivo es obtener información sistemática sobre la distribución y los cambios en la cubierta del bosque y el uso de las tierras forestales desde 1990 a 2000 y 2005 a nivel regional, de ecozona y mundial. El conjunto de datos de la Encuesta Mundial de la Tierra (GLS) que forma parte de la Encuesta Geológica de los Estados Unidos proporcionan las imágenes satelitales para la interpretación y clasificación. La GLS es un conjunto de datos múltiples coherentes en términos espaciales conformado por las mejores imágenes individuales adquiridas por el Landsat que abarcan la superficie de la Tierra. Se realizó un diseño de muestreo sistemático basado en cada intersección de longitud y latitud que fue implementado en 13 689 sitios. Cada cuadrícula de muestra abarca 10 por 10 kilómetros cuadrados para los cuales se compilaron varias bandas ópticas del GLS de Landsat, correspondientes a las tres fechas (56 219 cuadrículas de imágenes individuales). Como elemento experimental adicional, para una porción de las cuadrículas de muestra en las cuales se verificó una cubierta de nubes que ocultaba el bosque, se agregaron datos del radar TerraSAR-X al conjunto de datos.

El procesamiento de imágenes incluye la segmentación en polígonos basados en características de imágenes satelitales similares y el etiquetamiento de éstas en base a una forma simplificada de las clasificaciones de cubierta y uso de la tierra de la FAO. Los polígonos, etiquetados de manera preliminar como cubierta de la tierra y atributos de uso, así como imágenes de teledetección son proporcionadas a los expertos nacionales y regionales para su validación. Mediante una serie de talleres de capacitación regionales, en asociación con el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea (JRC) y la Universidad Estatal de Dakota del Sur (SDSU) en Estados Unidos, la Encuesta de Teledetección de FRA ha agrupado a los principales científicos en materia de teledetección de la cubierta de la tierra a fin de analizar los datos satelitales, comprometiéndose con expertos nacionales en cerca de 150 países. Un portal en Web ha sido publicado para poder acceder a los datos brutos, a los polígonos de cubierta de la tierra etiquetados de manera preliminar, así como a las atribuciones de uso y de cubierta de la tierra finales y validadas. El acceso a los datos y software de teledetección gratuitos será de particular beneficio para los países en desarrollo que cuentan con datos o capacidad de monitoreo forestal limitados.

Al momento de la redacción (diciembre de 2009), la recopilación de los datos había sido completada para los 13 689 sitios de muestreo representados por las imágenes de la Encuesta Mundial de la Tierra del Landsat de 1990, 2000 y 2005 por un total de 56 219 cuadrículas individuales de imágenes satelitales para los tres períodos de tiempo. El procesamiento inicial fue realizado en muchas muestras por parte del Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea y la FAO, mientras que los países que participan en el estudio piloto se irán sumando paulatinamente a través de los primeros talleres de capacitación y validación nacional, a realizarse en África y América del Sur. Les seguirán otras regiones y países.

Los principales resultados esperados de la Encuesta de Teledetección son estadísticas resumidas de la cubierta de árboles y del cambio en el área de bosque en escalas regional y mundial. También se producirá un mapa mundial actualizado de la cubierta de árboles, basado en imágenes MODIS. La encuesta, por lo tanto, mejorará la comprensión del área total de bosque que cambió, así como los modelos que resultan de este cambio y los procesos que promueven el cambio de la cubierta de bosque en el mundo. Esta información puede ser utilizada por los gobiernos, administradores de la tierra, investigadores y grupos de la sociedad civil para tomar decisiones basadas en una mejor información acerca de los recursos forestales mundiales. Se planea concluir el principal informe del estudio, a finales de 2011, Año Internacional de los Bosques.

1 Antecedentes y Justificación

Los bosques del mundo proporcionan beneficios económicos, sociales y ambientales vitales. Éstos aportan productos forestales maderables y no maderables, sustentan los medios de vida de la población, proporcionan agua limpia y hábitat para la mitad de las especies del planeta. Los bosques y el ordenamiento forestal se encuentran cada vez más bajo escrutinio debido al papel que desempeñan como agentes de la mitigación del cambio climático, sobre todo a través de iniciativas como la de Reducción de Emisiones causadas por la Deforestación y la Degradación (REDD) [desde la Conferencia de la CMNUCC de Bali, 2007]. Durante la Cumbre del G-8 de 2008, los líderes mundiales “*instaron a realizar acciones de REDD incluyendo el desarrollo de una red internacional de monitoreo forestal basada en las iniciativas existentes*”¹. Como parte de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) de 2010, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), sus países miembros y socios están emprendiendo una encuesta de teledetección sistemática que formará el andamio de un sistema de monitoreo forestal mundial coherente, a largo plazo. Dicho sistema contribuirá a satisfacer las recomendaciones del G-8 y asistirá a los países en desarrollo para preparar y beneficiarse de los mecanismos de REDD.

1.1 Historia de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales

La FAO proporciona información detallada sobre los recursos forestales, su estado y utilización, cada 5 y 10 años, basándose en datos que los países suministran a la FAO a través de un cuestionario. La FAO recopila y analiza la información y presenta el estado actual de los recursos forestales mundiales y sus cambios en el tiempo. Históricamente, el informe de FRA ha evolucionado para reflejar los principales temas de interés en un momento dado. Los primeros informes se enfocaron en las existencias de madera, en respuesta a las necesidades de la posguerra (Segunda Guerra Mundial) para contar con material de construcción, ahora el énfasis se ha desplazado hacia los temas de la deforestación y la conservación. La amplitud y calidad de los informes también ha mejorado, a medida que los países individuales incrementan su capacidad de elaboración de informes y a medida que la disponibilidad de información aumenta. La evaluación más reciente de 2005 fue la más exhaustiva en cuanto a su alcance y tuvo el propósito de evaluar el progreso alcanzado en pos del ordenamiento forestal sostenible.

1.2 Necesidad de información precisa y oportuna sobre el área de bosque

Las dinámicas de la cubierta de bosque cambian en las escalas local y regional pero nutren los impactos locales, regionales, y mundiales sobre el clima, la biodiversidad y los servicios del ecosistema. De acuerdo a FRA 2005², aproximadamente 13 millones de hectáreas de cubierta de bosque han sido convertidas anualmente a otros usos de la tierra, en todo el mundo. En materia de cambio climático, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) establece que la deforestación junto con otras actividades relacionadas con la silvicultura son responsables de cerca del 17 por ciento de la emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico producida anualmente³. El Mecanismo de Desarrollo Limpio de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio climático (CMNUCC) y REDD son dos de las iniciativas desarrolladas para ayudar a reducir los efectos negativos de la pérdida de bosque sobre el cambio climático, pero hay aspectos de la contabilidad para/y el monitoreo de los recursos forestales que siguen siendo difíciles de resolver.

Los procesos internacionales y nacionales relacionados con los bosques requieren de información sobre la cubierta de árboles, los recursos forestales y los procesos de FRA

apuntan a proveer datos relativos a ellos. Sin embargo, históricamente la cantidad y calidad de los datos disponibles para la elaboración de informes varían mucho de país a país. Las definiciones forestales cambian de lugar a lugar, dependiendo de las definiciones nacionales, los valores culturales y el propósito de evaluación, así como la metodología utilizada. Muchos países también carecen de registros coherentes, históricos y técnicos, así como de capacidad económica para elaborar informes sobre el área de bosque en el curso del tiempo. A través del proceso de FRA, la FAO está trabajando para fortalecer la capacidad técnica a nivel nacional, mejorando así la colecta de datos y elaboración de informes relacionados con los bosques. La Encuesta de Teledetección de FRA 2010 (denominada de aquí en adelante como RSS) continuará este proceso utilizando datos de teledetección de la superficie de la Tierra a fin de mejorar la información relativa a los cambios de la cubierta de árboles y el uso de las tierras forestales en todo el mundo.

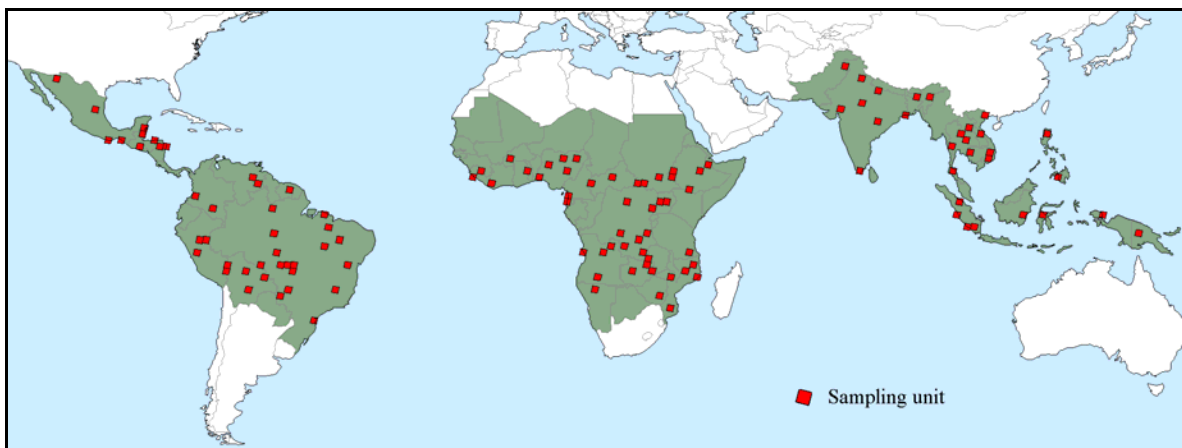


Figura 1. Distribución de escenas de Landsat utilizadas en las encuestas de teledetección de FRA en 1990 y 2000. El análisis se enfocó en los trópicos y representó una muestra del 10 por ciento del área de los trópicos. Sírvase compararla con la distribución de la encuesta actual de FRA 2010, mostrada en la figura 3.

1.3 ¿Porqué la teledetección?

La teledetección satelital ofrece la ventaja de cubrir un área amplia, y proporciona observaciones sistemáticas y la capacidad de utilizar análisis estandarizados, replicables para caracterizar la cubierta de la tierra. Es una de las únicas fuentes comprensibles de información disponible para muchas de las grandes áreas boscosas de la Tierra. Aunque la teledetección no reemplaza la necesidad de contar con datos colectados en el campo, ésta ofrece beneficios específicos cuando se realizan encuestas en áreas vastas con categorías de tipo de vegetación amplias.

Tanto FRA 1990⁴ como FRA 2000⁵ incluyeron un componente de teledetección para complementar la elaboración de informes nacionales, enfocados en las áreas tropicales. Los estudios de teledetección proporcionan una evaluación independiente de los cambios en la cubierta de árboles tropical y las dinámicas de uso de la tierra en los decenios de 1980 y 1990. Estas encuestas estaban basadas en un muestreo aleatorio estratificado y en un análisis temporal de imágenes satelitales de Landsat (Figura 1). Para cada una de las 117 unidades de muestreo seleccionadas, tres imágenes satelitales de Landsat con fechas diferentes proporcionaron información para producir estadísticas sobre la cubierta de bosque y otros cambios de la cubierta de la tierra desde 1980 a 1990 y desde 1990 a 2000 para los trópicos en su totalidad y para África, Asia y América Latina, separadamente.

La Encuesta de teledetección de FRA 2010 aprovechará y fortalecerá las encuestas de teledetección previas a través de un enfoque mundial exhaustivo e incrementará la cartografía

a nivel nacional, así como la capacidad de realizar inventarios. En asociación con el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea (JRC) y la Universidad estatal de Dakota del Sur (SDSU) de los Estados Unidos, la Encuesta de teledetección de FRA reúne en términos comprensivos las imágenes satelitales database⁶ de la encuesta Mundial de la Tierra de Landsat, así como a los científicos de teledetección experimentados a fin de analizar los datos satelitales y trabajar con los expertos nacionales en más de 150 países. Las metas de la Encuesta de teledetección de FRA son obtener información sistemática acerca de la distribución y los cambios en la cubierta del bosque y el uso de las tierras forestales desde 1990 a 2000 y 2005 a niveles regional, de ecozona y mundial. La encuesta también proporciona un marco de trabajo coherente que puede servir de base para futuras evaluaciones mundiales y evaluaciones regionales más detalladas.

1.4 Cubierta y uso de la tierra

La encuesta de teledetección produce resultados, tanto para la cubierta de árboles, como para el uso de las tierras forestales. La cubierta de la tierra se refiere a los atributos biofísicos de la superficie de la Tierra y puede ser detectada directamente mediante un instrumento de teledetección, como el satélite Landsat. El uso de la tierra conlleva una dimensión humana o propósito que caracteriza a un lugar. Éste a veces puede deducirse a través de datos de teledetección, sin embargo, sólo suele ser verificado mediante el conocimiento de expertos locales o de datos colectados en el campo a través de inspecciones de terreno. La información precisa sobre el uso de la tierra es crucial para entender a los promotores del cambio de la cubierta de bosque y ayuda a desarrollar políticas y estrategias eficaces para revertir la pérdida de los bosques. Al incorporar tanto la cubierta, como el uso de la tierra, las imágenes teledetectadas y el proceso de clasificación de la Encuesta de teledetección describirán de manera más adecuada tanto la cubierta física de árboles, como el área de bosque, definida de múltiples maneras. Un ejemplo de cómo se comparan la cubierta de árboles teledetectada y el área de bosque definido según el país, se muestra en la Figura 2.

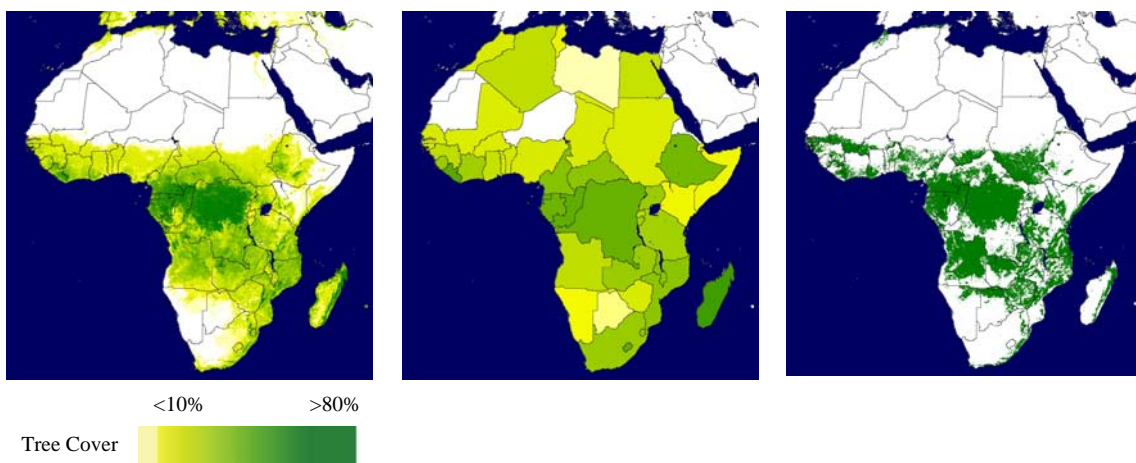


Figura 2. Comparación entre la teledetección y la elaboración de informes nacionales para África mostrando (izquierda) el porcentaje de la clasificación de cubierta de árboles para África según MODIS 2001 (VCF)⁷ que produce un área de bosque estimada para cada país, coincidente con aquellos reportados por FRA 2000. Este mapa fue creado partiendo de la cubierta de árboles más densa en cada país y desplazando el umbral a partir de allí hasta las áreas de bosque coincidentes reportadas para FRA 2000. (Derecha) El mapa forestal en el que el área de bosque por país coincide con los totales de FRA 2000. Verde = bosque, blanco = no bosque. Proporcionado por el Dr. Matthew Hansen de la Universidad de Dakota del Sur.

2 Métodos

2.1 Cuadrícula de muestreo e imágenes satelitales

La cuadrícula de muestreo de la Encuesta mundial de teledetección de FRA consiste en 13 689 sitios y abarca el globo entre 75 grados Norte y latitud Sur (Figura 3). Se implementó un diseño de muestreo sistemático basado en cada intersección de longitud y latitud, utilizando una intensidad reducida por encima de los 60 grados Norte/Sur debida a la curvatura de la Tierra (cada segunda intersección de muestra tomada entre 60 y 75 grados Norte/Sur). Cada muestra consiste en un cuadrado de 10 por 10 kilómetros ubicada en cada conjunción de las líneas longitudinal y latitudinal de un grado (aproximadamente 100km entre uno y otro). Esta red de parcelas de muestra se basa en la misma trama utilizada por las evaluaciones forestales nacionales apoyadas por la FAO⁸ pero tiene una menor intensidad (es decir, tiene un espaciamiento más amplio). Las cuadrículas fueron incluidas en una máscara de la tierra derivada de la red del VMAP0 (Mapa Vector Nivel 0, de la Agencia de Cartografía e imágenes satelitales nacionales de los Estados Unidos). La Antártica fue excluida de la máscara de la tierra. Las ubicaciones de las muestras dentro de los desiertos, el hielo permanente, es decir aquellas no cubiertas de árboles, también fueron excluidas del análisis dejando así una cifra total de 9 329 sitios. El Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea procesará 5 967 muestras como parte de sus programas de investigación sobre árboles maduros, bosques y mundo, mientras que la FAO procesará 3 362 muestras.

2.2 Insumos de teledetección

El conjunto de datos de la Encuesta Mundial de la Tierra Landsat, de la Encuesta Geológica de los Estados Unidos proporcionó los datos de imágenes para la interpretación y la clasificación. La Encuesta Mundial de la Tierra es un conjunto de datos múltiples, coherente en términos espaciales, compuesto de las mejores imágenes individuales de Landsat que abarcan la mayoría de la superficie de la Tierra y se centra en los años 1975, 1990, 2000, y 2005⁶.

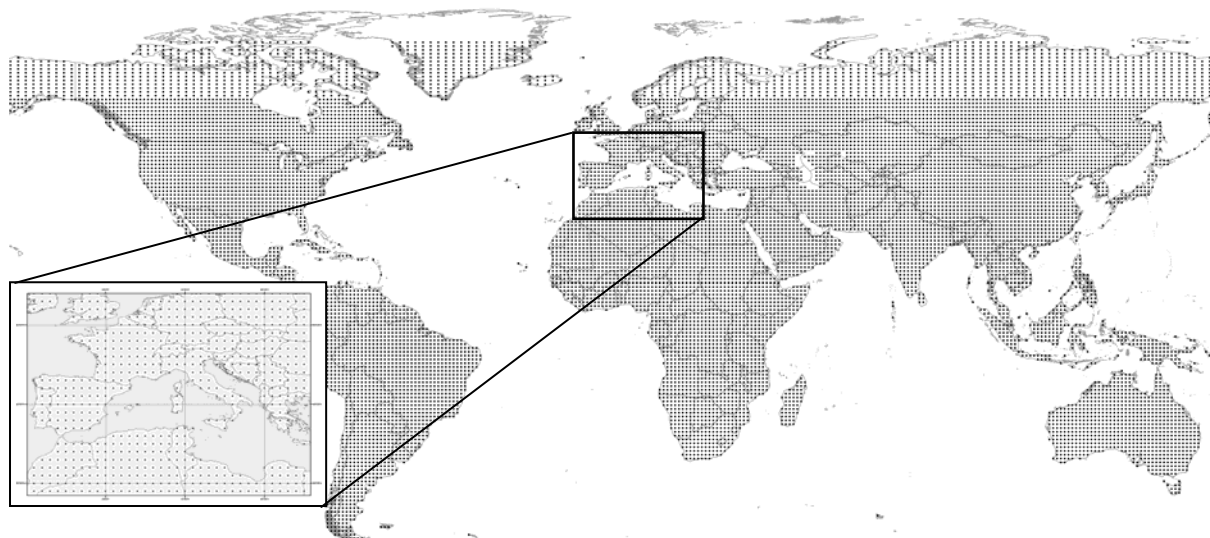


Figura 3. Distribución de los 13 689 sitios de la Encuesta Mundial de FRA 2010. Detalle de los sitios de muestreo en partes de Europa y África del Norte.

El enfoque inicial de la Encuesta Mundial de FRA son los conjuntos de datos del GLS1990, GLS2000 y GLS2005. Cuando sea posible, los datos de Landsat de 1975 también serán analizados. Para cada cuadrícula de la encuesta se compilieron las bandas ópticas de Landsat 1-5 y 7 (también 8 en el caso de ETM+) adquiridas a través de la Encuesta Mundial de la

Tierra. Éstas fueron adjuntas a una casilla de 20km por 20km centrada en cada intersección de latitud y longitud de un grado para crear ‘chips’ de imágenes. Este ejercicio produjo 56 219 chips de imágenes individuales para los tres períodos de tiempo. La casilla central de 10km por 10km de cada cuadrícula de muestra será utilizada para cálculos de área y análisis estadístico. En áreas en donde las adquisiciones de la Encuesta Mundial de la Tierra aparecen nubladas o no coinciden con las estaciones, se adquirirán imágenes adicionales del archivo de datos de Landsat o directamente de las estaciones terrestres regionales.

2.3 Uso de datos de radar

Para una porción de las cuadrículas de muestra en las cuales una cubierta de nubes obscurece el bosque, se utilizarán datos del radar TerraSAR-X I para incrementar el conjunto de datos⁹. Esta es una práctica experimental que se agrega a las imágenes ópticas de base, utilizadas en la Encuesta (Figura 4). Para más información sírvase consultar <http://www.frasar2010.uni-jena.de/>

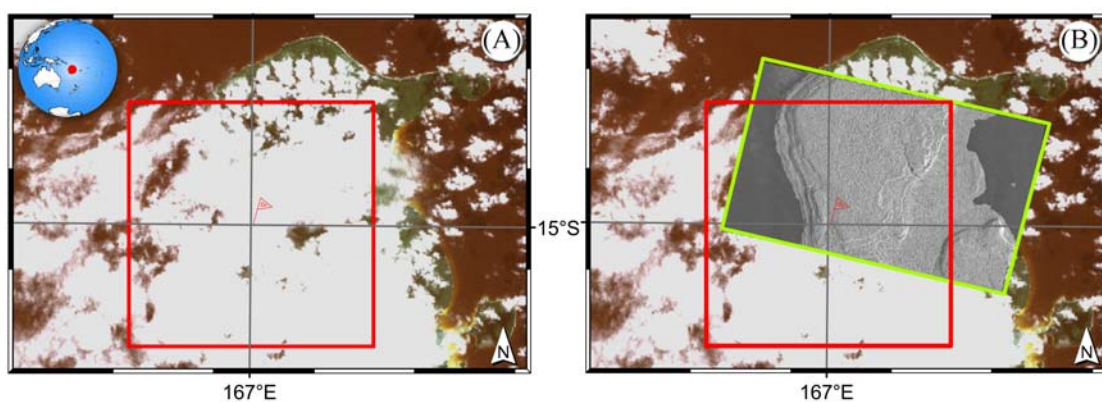


Figura 4. Un ejemplo del proyecto FRA-SAR (Universidad Friedrich-Schiller) que pone de relieve la utilidad de los datos de SAR (radar) cuando la cubierta de nubes obscurece la teledetección óptica. Un sitio de muestra de la Encuesta Mundial de FRA (casilla roja) con cubierta de nubes (A). La imagen TerraSAR-X ©DLR de SAR (casilla verde en B) muestra la habilidad de penetrar la cubierta de nubes y proporcionar datos capaces de producir estimaciones significativas de la cubierta de árboles.

2.4 Procesamiento de datos ópticos, segmentación, clasificación, etiquetamiento y descripción

Se produjeron tres versiones de cada banda de Landsat para la interpretación: (i) cifras digitales brutas (DNs), (ii) cifras digitales brutas normalizadas de primer orden, y (iii) cifras digitales brutas normalizadas mejoradas linealmente. La normalización y el mejoramiento reducen la interferencia atmosférica y mejoran la interpretabilidad de las imágenes. Insumos de imágenes adicionales para cada chip incluyen una máscara de nube, una máscara de agua y una máscara de datos/no datos.

La Encuesta se sirve de datos múltiples, así como de un enfoque de segmentación de imagen de resolución múltiple¹⁰ para clasificar cada cuadrícula de la encuesta (Figura 5). Las bandas de Landsat normalizadas 3, 4, y 5 de los conjuntos de datos de la Encuesta Mundial de la Tierra 1990, 2000, y 2005 se combinan en una imagen de 9 bandas. La segmentación de imagen se lleva a cabo en la imagen de 9 bandas utilizando el software e-Cognition¹¹ disponible comercialmente. El resultado es un único estrato de polígonos que contiene información en imágenes para los tres períodos de tiempo. El estrato de polígonos está clasificado separadamente para los tres períodos utilizando bandas ópticas de Landsat (1-5 y 7) para cada período de tiempo, resultando en tres etiquetas de cubierta de la tierra por polígono; con una etiqueta para cada período 1990, 2000, y

2005. Los cambios en la cubierta de la tierra en el curso del tiempo son capturados en los polígonos y reflejados en las etiquetas acerca de los cambios en la cubierta de la tierra asignados durante el proceso de clasificación (Figura 6). Se pueden ajustar varios parámetros de afinamiento para optimizar los resultados de la segmentación y en el caso de la encuesta de teledetección, están ajustadas imagen por imagen, de manera tal que la unidad mínima de cartografía resultante es de aproximadamente 5 hectáreas.

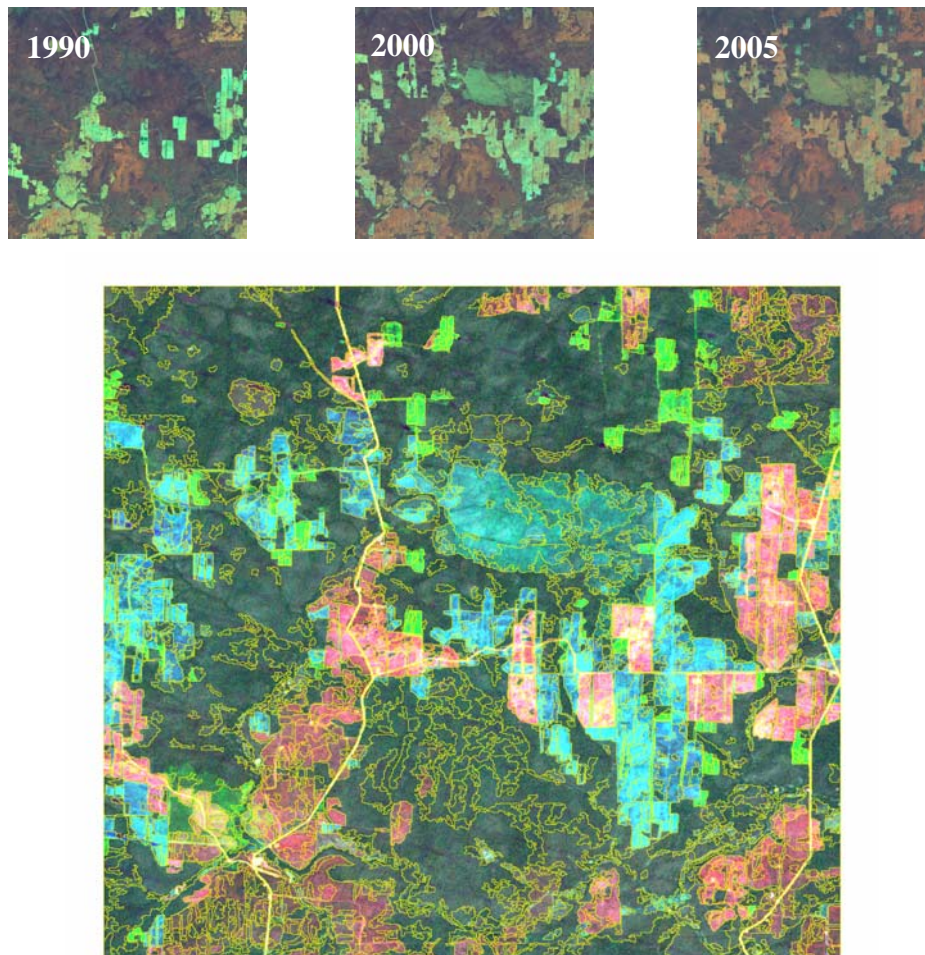


Figura 5. Imágenes de los períodos de tiempo 1, 2, y 3 (arriba) combinadas en una imagen de datos múltiples (abajo) y polígonos de segmentación superpuestos (en amarillo). El desboscamiento presente en el período de tiempo 1 (1990) aparece en rojo, nuevos desboscamientos aparecen en el período de tiempo 2 (2000) aparecen en azul, y nuevos desboscamientos se observan en el período de tiempo 3 (2005) apareciendo en verde. El único estrato de polígonos de segmentación incluye toda esta información y contendrá etiquetas de clasificación para cada período de tiempo.

Producir los polígonos finales de cubierta de la tierra es un proceso dividido en dos etapas. La primera es un ejercicio de etiquetamiento preliminar seguido de una corrección de etiquetas y de la validación por parte de expertos nacionales. Los polígonos están clasificados y etiquetados preliminarmente en una de dos maneras: (i) de forma automática utilizando firmas espectrales y (ii) por interpretación visual. La clasificación automática y etiquetamiento por parte del Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea será aplicada a las cuadrículas de la encuesta en los trópicos húmedos, los bosques boreales de Rusia, y Europa¹².

Para todas las demás regiones, los especialistas de la FAO utilizarán una combinación de métodos automatizados e interpretación visual para clasificar y etiquetar los polígonos.

Las clases amplias de cubierta de la tierra serán transformadas en clases amplias de uso de la tierra similares (bosque, otras tierras forestales, otro uso de la tierra, agua) pero en donde hay un cambio desde/hacia el bosque, se efectuará una clasificación más detallada del uso y cubierta de la tierra de la categoría “otras tierras”. El principal propósito de etiquetar los polígonos por uso de la tierra es evaluar el cambio en el área de bosque, así como los principales promotores de estos cambios.

El sistema de clasificación de la cubierta de la tierra desarrollado por la FAO (LCCS)¹³ ha sido adaptado para etiquetar los polígonos para la cubierta de la tierra e incluyen seis clases de cubierta de la misma (más la que no tiene datos). Las cuadrículas de la encuesta procesadas por el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea utilizan una descripción inicial ligeramente diferente y será reclasificada para que coincida con las clases de cubierta de FRA. Se desarrollaron nueve códigos de uso de la tierra para que sean utilizados en la Encuesta de teledetección basándose en las definiciones de FRA (Tabla 1).

Tabla 1: Cubierta de la tierra (columna izquierda) y clases de uso de la tierra (columna derecha) utilizadas por la Encuesta de FRA 2010. Las zonas grises representan un nivel más detallado de clasificación a ser etiquetado cuando sea posible.

Clase de cubierta de la tierra	Clase de uso de la tierra
Cubierta de árboles	Bosque
Cubierta de arbustos	Otras tierras boscosas
Herbácea	Otras tierras con cubierta de árboles
Baldía/sin vegetación	Cubierta de pastos y herbácea
Humedales	Cultivos agrícolas
Agua	Habitación construida
Sin datos	Tierra baldía
	Humedales
	Agua
	Sin datos

Los polígonos, previamente etiquetados, y caracterizados como cobertura y uso de la tierra, así como las imágenes de teledetección serán proporcionados a los países y expertos regionales para que efectúen su validación. Se verificará la precisión de las etiquetas que caracterizan a los polígonos comparándolas con las imágenes correspondientes a los distintos períodos de tiempo. Conjuntos de datos auxiliares específicos del país (tales como mapas del inventario forestal y de los tipos de vegetación, cuando se encuentren disponibles) además se utilizará información cualitativa obtenida a raíz del Proyecto Degree Confluence Project (www.confluence.org), Panoramio™ y Google Earth™. Los cambios en el área del bosque tanto positivos (forestación o expansión natural), como negativos (deforestación) entre uno y otro período de tiempo, serán resumidos en zonas ecológicas mundiales y también a niveles regionales.

3 Resultados y debate

Cuando se redactó este documento (Diciembre de 2009), la encuesta era un trabajo en curso. Los resultados esperados de la encuesta incluyen estadísticas resumidas de la cobertura de árboles y del cambio en el área de bosque, a escalas espaciales mundiales y regionales. Allí en donde las áreas de bosque han cambiado a otros usos de la tierra o viceversa, el cambio de uso de la tierra en el curso del tiempo será analizado aún más para proveer información acerca de los principales mecanismos que promueven los cambios.

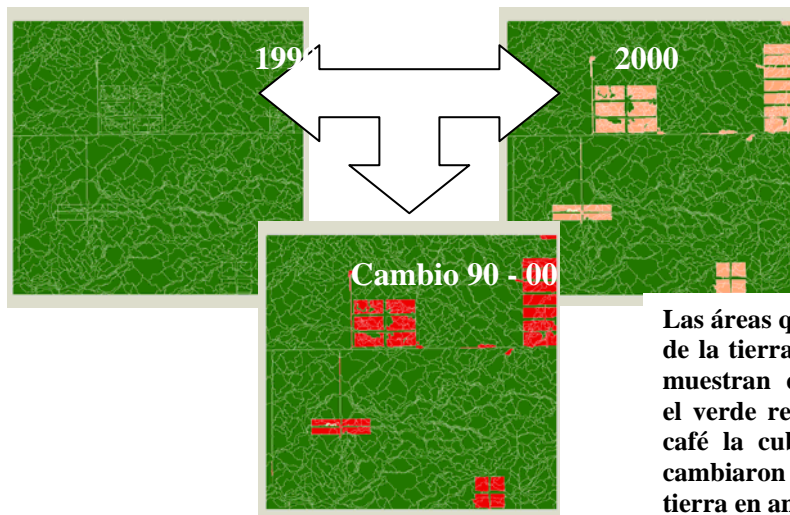


Figura 6. Un sitio de muestra ilustra los polígonos preliminares, etiquetados previamente, producto de la segmentación de datos múltiples, clasificados como cubierta de la tierra para 1990 (izquierda) y 2000 (derecha).

Las áreas que muestran el cambio en la cubierta de la tierra entre los dos períodos de tiempo se muestran en rojo (izquierda). En este ejemplo, el verde representa la cubierta de árboles y el café la cubierta herbácea. Los polígonos que cambiaron recibirán etiquetas de uso de la tierra en ambos períodos de tiempo.

Un nuevo mapa actualizado de la cubierta de árboles mundial, similar a la figura 7, también será producido como parte de la encuesta de teledetección. Este producto será exhaustivo en términos espaciales (cobertura continua), y tendrá un tamaño de píxeles de 250 metros por 250 metros, que es mucho más detallado que la resolución de 1 Km. utilizado en el mapa forestal de FRA 2000. Producido en la ciudad de Dakota del Sur, el mapa se servirá de un sensor MODIS y de algoritmos de campos continuos de vegetación (VCF)⁷. El producto VCF muestra los píxeles equivalentes al porcentaje de cubierta de árboles, que oscila entre cero y 100. Una vez validados, los polígonos de cubierta de la tierra del sitio de muestra de la encuesta serán utilizados para validar los resultados VCF y mejorar los algoritmos de VCF de los futuros mapas de cubierta mundial de árboles.

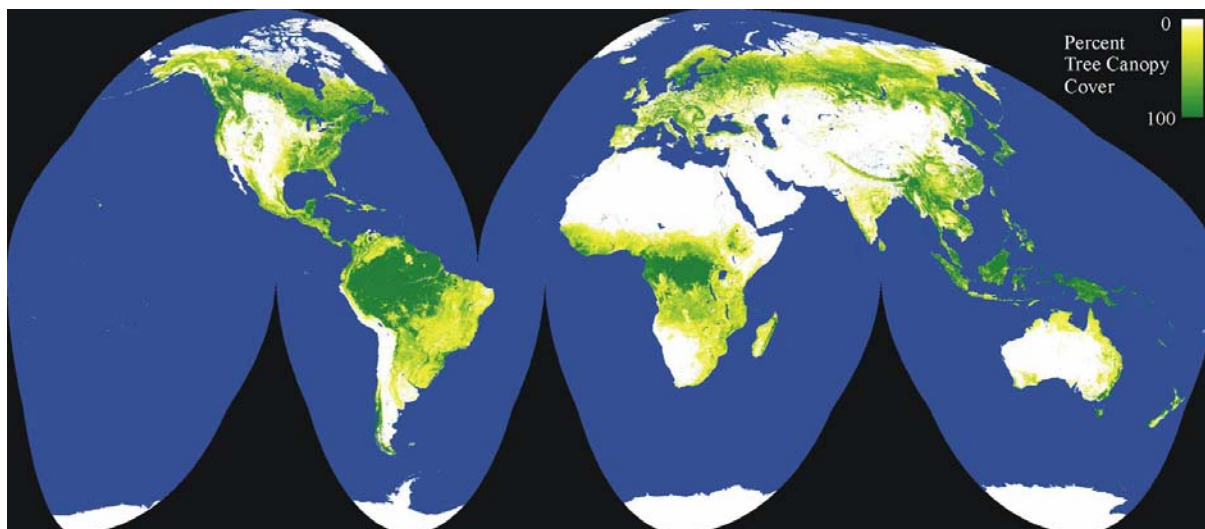


Figura 7. Mapa mundial de MODIS VCF 2000: porcentaje de cubierta de árboles con píxeles de 500x500 metros. Las muestras validadas pueden ser utilizadas para mejorar la calidad de los mapas mundiales.

3.1 Muestreo estadístico versus cartografía continua

Existen muchas opciones a la hora de elegir un diseño de muestreo para el monitoreo forestal y éstas fueron evaluadas durante la encuesta de teledetección de FRA 2010^{14,15}. La encuesta utiliza un enfoque de muestreo sistemático y exhaustivo, en términos mundiales, que abarca el uno por ciento de la superficie de la tierra del planeta. El muestreo sistemático con imágenes de resolución espacial mediana fue elegido como una solución que logra volúmenes de datos manejables, una cobertura exhaustiva de las ubicaciones de las parcelas de muestra, y produce resultados

válidos estadísticamente a escalas espaciales regionales y mundiales. Aunque existen productos de teledetección de cubierta de la tierra de dimensión mundial, éstos muestran una resolución espacial relativamente gruesa (250+ metros) mientras que muchos cambios de la cubierta de bosque se llevan a cabo a una escala menor de la que se puede medir adecuadamente con píxeles ‘grandes’, especialmente en las zonas del trópico.

Los datos de Landsat fueron elegidos como la fuente de datos preferida para la encuesta de teledetección de FRA porque tiene un tamaño apropiado de píxeles (30m) para poder detectar pequeñas porciones de cambio en el bosque y porque tiene el mejor archivo histórico de datos mundiales¹⁶. La loable decisión tomada por Encuesta Geológica de los Estados Unidos en 2008 de permitir el uso libre de todo el archivo de Landsat supera una de las principales limitaciones históricas para la utilización de estos datos. Sin embargo, los grandes volúmenes de datos y las dificultades de automatizar el proceso para producir resultados exitosos a través de una amplia variedad de ecosistemas, limita actualmente la posibilidad de desarrollar un mapa continuo mundial de los bosques a escala Landsat. Estas limitaciones están siendo tratadas, y están surgiendo resultados promisorios en escalas regional y continental en América del Norte¹⁷, América del Sur¹⁸, Australia¹⁹, África Central²⁰, y Europa²¹.

3.2 Participación nacional y formación de capacidades

La FAO y sus socios trabajarán estrechamente con los especialistas en teledetección y en inventarios forestales de los gobiernos nacionales, y de una amplia gama de organizaciones no gubernamentales, a fin de completar la encuesta de teledetección. El análisis y la validación de la cubierta y uso de la tierra se beneficiarán enormemente con la contribución de cada país incluyendo los datos nacionales y el conocimiento local para asegurar resultados precisos. La FAO y el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea proporcionarán software gratuito a todos los países participantes para que puedan visionar las imágenes y etiquetar los cambios de cubierta y de uso de la tierra. Una serie de talleres de capacitación serán realizados alrededor del mundo en centros regionales a fin de mejorar la capacidad técnica del personal local para interpretar las imágenes de teledetección. El acceso a datos de teledetección y software gratuitos beneficiará, en particular modo a los países en desarrollo que cuentan con datos de monitoreo forestal escasos o capacidad limitada.

La FAO también creó un portal de datos en Web para facilitar el acceso al subgrupo y a las imágenes de Landsat procesadas de manera preliminar, utilizadas en la encuesta, así como a los polígonos de cubierta de la tierra previamente etiquetados y al producto final y validado de cubierta y uso de la tierra de la encuesta de FRA. Se proveerá a los países participantes una modalidad de carga y descarga a través de una contraseña protegida, permitiéndoles así acceder al portal y guardar los resultados del trabajo de validación a medida que sea completado. También se facilitarán los datos auxiliares como fotografías u otra información.

La FAO y sus colaboradores están solicitando nombramientos de especialistas nacionales para que presenten su asistencia en los ejercicios de validación de la cubierta y uso de la tierra para la encuesta de teledetección. En términos ideales, los candidatos apropiados tendrán alguna experiencia en teledetección y/o sistemas de información geográfica, así como conocimientos acerca de la cubierta del bosque y de la tierra, o de los atributos de uso de la tierra en su país. La FAO proporcionará fondos a los países en desarrollo para que el especialista que hayan nombrado asista a los talleres de capacitación en su respectiva región. Aquellos países que cuentan con una gran cantidad de cuadrículas de muestra pueden candidarse para recibir apoyo financiero a fin de completar los ejercicios de validación. Se ha programado que la encuesta de teledetección esté completada para finales de 2011, Año Internacional de los Bosques.

4 Conclusión

La encuesta de teledetección de FRA 2010 es un estudio mundial sistemático y exhaustivo de la cubierta de árboles y de los cambios de uso de las tierras forestales desde 1990 hasta 2000 y de allí, hasta 2005. Ésta presenta una metodología coherente para efectuar el seguimiento del cambio en el bosque a nivel mundial, el cual puede ser extendido para efectuar estudios más detallados. Se espera que la encuesta mejore la comprensión acerca del total de área del bosque que ha cambiado, así como los modelos resultantes de este cambio, y los procesos que promueven el cambio de la cubierta de bosque a nivel mundial. Se trata de información que los gobiernos, administradores de tierras, investigadores y los grupos de la sociedad civil pueden utilizar para tomar decisiones basadas en una mejor información acerca de los recursos forestales mundiales.

Las actividades de divulgación y capacitación por parte de la FAO, el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea y asociados contribuirán a la formación de capacidades técnicas para el seguimiento de los recursos forestales en muchos países. La FAO y el Centro de Investigación Conjunta proporcionarán acceso a las imágenes de teledetección tanto a través de Internet, como de datos brutos. Las imágenes y el software de procesamiento que forma parte de la encuesta de teledetección, a ser presentado en los talleres de capacitación regionales, pueden ser utilizados para otros estudios y objetivos de monitoreo. Además, se creará una red de especialistas en teledetección que representa un potente recurso humano para mejorar la capacidad y eficiencia técnicas en muchos países.

El proceso de elaboración de informes y la encuesta de teledetección de FRA 2010 juntos, proporcionarán una base para informar acerca del progreso en los ámbitos de (i) la meta del Convenio de Diversidad Biológica de revertir la pérdida de biodiversidad en 2010, (ii) los Objetivos de Desarrollo del Milenio, (iii) los Objetivos mundiales del Foro de las Naciones Unidas sobre los bosques, (iv) el Objetivo 2000 de la Organización Internacional de Maderas Tropicales. Si los países deciden y cuentan con los recursos para hacerlo, los métodos tienen el potencial de formar una plataforma para desarrollar la capacidad de realizar informes detallados a nivel nacional, tales como aquellos que se requieren en materia de uso y cambio de uso de la tierra para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, así como el mecanismo de REDD que es actualmente objeto de negociación.

Bibliografía

1. The Group of Eight Summit, 2008. Hokkaido, Tokyo G8 Summit Leaders Declaration Hokkaido Toyako, 8 July 2008. http://www.g8summit.go.jp/eng/doc/doc080714_en.html
2. FAO, 2006. Global Forest Resources Assessment 2005, FAO Forestry Paper 147. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/a0400e/>
3. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate change 2007-The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Cambridge University Press, Cambridge, UK).
4. FAO, 1995. Forest resources assessment 1990 – global synthesis. FAO Forestry Paper 124. Rome, Italy.
5. FAO, 2001. FRA 2000 Main Report. FAO Forestry Paper 140. Rome, Italy. <http://www.fao.org/forestry/fra2000report/en/>
6. Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S. and Kurtz, R., 2008. Towards monitoring land-cover and land-use changes at a global scale: The Global Land Survey 2005. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74, pp. 6–10.
7. Hansen, M.C., Dimiceli, C., Sohlberg, R.A., 2003. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 m: First results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm, *Earth Interactions*, 7, paper no. 10, 15 pp.
8. FAO, 2008. National Forest Monitoring and Assessment- Manual for integrated field data collection. National Forest Monitoring and Assessment Working Paper NFMA 37/E. Rome
9. Knuth, R., Eckardt, R., Richter, N., Thiel, C. Schmillius, C., 2009. FRA-SAR 2010 - An experimental analysis of high resolution synthetic aperture radar within the framework of the FAO's FRA 2010. *Proceedings of the 33rd International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, Stresa, Italy, April 17, 2009.
10. Desclée, B., Bogaert, P., Defourny, P., 2006. Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sensing of Environment*, 102, pp. 1-11.
11. Baatz, M. and Schape, A., 2000. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Eds.), *Angewandte Geographische Informations-Verarbeitung XII*. Wichmann Verlag, Karlsruhe, p.p. 12– 23, 2000.
12. Bodart, C., Beuchle, R., Simonetti, D., Eva, H., Raši, R., Carboni, S., Brink, A., Stibig, H. Achard, F., Mayaux, P. 2009. Global monitoring of tropical forest cover changes by means of a sample approach and object-based classification of multi-scene Landsat imagery: pre-processing and first results. *Proceedings of the 33rd International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, Stresa, Italy, April 17, 2009.
13. FAO, 2005. Land Cover Classification System (LCCS), Version 2: Classification Concepts and User Manual. Ed. Di Gregorio, A. <http://www.fao.org/docrep/008/y7220e/y7220e00.htm>
14. FAO 2007a. Global Forest Resources Assessment 2010, Options and recommendations for a global remote sensing survey of forests. Forest Resources Assessment programme Working Paper 141. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai074e/ai074e00.pdf>.
15. Mayaux, P., Holmgren, P., Achard, F., Eva, H., Stibig H.J., and Branthomme, A. 2005. Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring. *Phil. Trans. R. Soc. B 2005 360, 373-384*
16. Williams, D.L., Goward, S. and Arvidson, T., 2006. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72, pp. 1171–1178.
17. Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N.E., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, K.F., Gao, F., Kutler, J., Lim, T., 2006. A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3, pp. 68-72.
18. INPE, 2008. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. *Projeto PRODES* <http://www.obt.inpe.br/prodes>.
19. Caccetta, P.A., Furby, S.L., O'Connell, J., Wallace, J.F. and Wu, X. 2007. Continental Monitoring: 34 Years of Land Cover Change Using Landsat Imagery, *32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment*, June 25-29, 2007, San José, Costa Rica.
20. Hansen, M., Roy, D.P., Lindquist, E., Justice, C., Altstatt, A., 2008a. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in Central Africa. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 2495–2513.
21. Pekkarinen, A., Reithmaier, L. Strobl, P., 2009. Pan-European forest/non-forest mapping with Landsat ETM+ and Corine Land Cover 2000 data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64, 171-183.

Otras lecturas

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayeaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.P., 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297, pp. 999-1002.
- Bonan, G.B., 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefit of forests. *Science*, 320, pp. 1444-1449.
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., Mayeaux, P., 2008. Deforestation in Central Africa: estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 1969-1981.
- FAO, 2001. Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment, 2000. Forest Resources Assessment - Working Paper 56. Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/006/ad652e/ad652e00.htm>.
- FAO 2007a. Global Forest Resources Assessment 2010, Options and recommendations for a global remote sensing survey of forests. Forest Resources Assessment programme Working Paper 141. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai074e/ai074e00.pdf>.
- FAO, 2007b. Specification of National Reporting Tables for FRA 2010. Forest Resources Assessment Programme Working Paper 135. <http://www.fao.org/forestry/media/14119/1/0/>
- Grainger, A. 2008. Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area. *Proceedings of the National Academy of Sciences*: 105: 818-823. 0703015105.
- Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Loveland, T.R., Townshend, J.R.G., DeFries, R.S., Pittman, K.W., Arunarwati, B., Stolle, F., Steiner, M.K., Carroll, M., Dimiceli, C., 2008b. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. *Proceedings of the National Academy of Science*: 105, pp. 9439-9444.
- Lambin, E., and Geist, H., (eds), 2005. *Land Use and Land Cover Change: Local Processes, Global Impacts* (Springer, New York).
- Potapov, P., Hansen, M.C., Stehman, S.V., Loveland, T.R., Pittman, K., 2008. Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 3708-3719.
- Stehman, S.V., 2003. Statistical sampling to characterize land cover change. *Remote Sensing of Environment*, 86, pp. 517-529.
- Tucker, C.J., Grant, D.M., Dykstra, J.D., 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70, pp. 313-322.
- UNFF, 2007. Non-legally Binding Instrument on all Types of Forests. UN General Assembly A/C.2/62/L.5.
- Wilson, Edward O. (ed.), 1988. Biodiversity. National Academy Press, Washington, DC, 521pp.