

Cambio de uso de las tierras forestales mundiales 1990–2005



Fotografías de cubierta :

Izquierda : Tsuga del Pacífico, bosque natural de *Tsuga heterophylla*, Alaska (B. Ciesla)

Centro: Composición RGB (bandas 5, 4 y 3) de Landsat 7, para una unidad de muestreo de 20 km por 20 km localizada en 72 Oeste y 38 Sur, Chile (USGS)

Derecha: Bosque cortado para agricultura, Tailandia (FAO/14639/K. Boldt)

Cambio de uso de las tierras forestales mundiales 1990–2005

ESTUDIO
FAO:
MONTES

169

Autores principales:

Lindquist, Erik J.
D'Annunzio, Rémi
Gerrand, Adam
MacDicken, Kenneth
Achard, Frédéric
Stibig, Hans-Jürgen
Eva, Hugh
Beuchle, Rene
Mayaux, Philippe
Brink, Andreas
San-Miguel-Ayanz, Jesús

Cita bibliográfica recomendada: *FAO y JRC 2012. Cambio de uso de las tierras forestales mundiales 1990–2005*. E.J. Lindquist, R. D'Annunzio, A. Gerrand, K. MacDicken, F. Achard, R. Beuchle, A. Brink, H.D. Eva, P. Mayaux, J. San-Miguel-Ayanz & H-J. Stibig. Documento Forestal 169 FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. Roma, FAO.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-307399-3

© FAO 2013

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, imprimir y descargar el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO apruebe los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

Índice

Reconocimientos	vii
Prólogo	viii
Siglas y abreviaturas	ix
Resumen de Orientación	x
1. Introducción	1
La Encuesta de teledetección de FRA 2010	1
2. Métodos y materiales	3
Cubierta de la tierra y uso de la tierra	3
Diseño sistemático de muestras	3
Fuentes de imágenes satelitales	4
Procesamiento previo de imágenes	4
Clasificación automatizada de la cubierta de la tierra	5
Entrenamiento de la clasificación	8
Clases de uso de la tierra	9
Conversión de cubierta de la tierra a uso de la tierra	9
Interpretación de expertos, validación y corrección de las clases cubierta de la tierra y uso de la tierra	10
3. Análisis de datos	13
Sin datos	13
Ajuste de la latitud y cálculo de la superficie	14
Agregación para los análisis de los ámbitos regional y climático	15
Superficie de bosques: incrementos y pérdidas	15
Enmarcando los cambios verificados en la superficie de bosques dentro de un período anual	15
Error	16
4. Resultados y examen	17
La superficie de uso de tierras forestales disminuyó entre 1990 y 2005	18
Incrementos y pérdidas mundiales de bosque	18
Diferencias regionales en la pérdida e incremento de bosques	18
Diferencias en la tasa anual de cambio por región y por ámbito climático	21
Comparación con otros estudios de la FAO	21
Causas del cambio en el uso de la tierra	27
Evaluación de la precisión	28
5. Conclusiones	29
Integración de imágenes satelitales de baja resolución para contribuir con la clasificación	29
Importancia del examen y revisión visuales de la clasificación	29
La utilidad de Landsat para el monitoreo mundial	30
Establecimiento de redes mundiales	30

Bibliografía	31
Anexo 1. Metodologías de examen y revisión específicas del país	35
Anexo 2. Sitios de la encuesta procesados con respecto a los analizados	37
Anexo 3. Colaboradores en el examen y revisión	39
Anexo 4. Detalles de los cálculos	41

Figuras

1	Las 15 779 muestras de cuadrícula de 1 grado de los sitios utilizados en la encuesta, con una intensidad reducida superior a 60° de latitud norte y sur	3
2	Ejemplo de tres fechas de imágenes combinadas para crear una sola imagen compuesta con segmentos que capturan los cambios de reflectancia en cada período	6
3	Flujograma general de la cadena de procesamiento utilizado por la FAO	7
4	Clases de cubierta de la tierra y de uso de la tierra y sus códigos numéricos asociados	10
5	Interfaz del usuario del instrumento de validación de la JRC mostrando imágenes Landsat de cada período de la encuesta (izquierda) y clases de uso de la tierra de la FAO (centro)	11
6	Los 13 066 sitios finales utilizados en el análisis de la Encuesta de Teledetección 2010	13
7	Regiones (a) y ámbitos climáticos (b) utilizados para la agregación y el análisis	14
8	Rango de fechas de imágenes satelitales utilizados para cada período de la encuesta	16
9	Superficie de bosque por región, 1990, 2000 y 2005	19
10	Superficie de bosque por ámbito climático, 1990, 2000 y 2005	19
11	Incrementos y pérdidas brutas y cambio neto en la superficie del bosque, por región de FRA, 1990–2000 y 2000–2005	20
12	Incrementos y pérdidas brutas y cambio neto en la superficie del bosque, por ámbito climático de la FAO, 1990–2000 y 2000–2005	20
13	Distribución de los puntos del muestreo pantrópico, RSS 2000	22
14	Superficie de bosque pantropical en 1990 (a) y 2000 (b), según se estimó en la RSS 2000 y en la RSS 2010	22
15	Comparación de cambio neto en la superficie del bosque pantropical y pérdida bruta de la superficie del bosque, 1990–2000	23
16	Superficie de bosque pantropical en 1980, 1990, 2000 y 2005	24
17	Una comparación de la superficie de bosque, por región, según fue reportada en FRA 2010 y en la encuesta RSS 2010	24
18	La relación entre la proporción de los ámbitos climáticos secos por región y la diferencia proporcional entre las estimaciones de superficie de bosque de FRA 2010 y RSS 2010 para esa región	25
19	Cambio neto en la superficie de bosque de la encuesta RSS 2010 respecto a FRA 2010	26

Cuadros

1	Modelo de etiquetamiento de cubierta de la tierra de MMU de 5 ha de nivel 2 basado en la composición porcentual de los segmentos de nivel 1 subyacentes, colocados en orden de prioridad descendente	7
2	Superficie media de bosques ('000 ha ± intervalo de confianza) por región (a) y ámbito climático (b), 1990, 2000 y 2005	15
3	Significancia de los cambios netos anuales y de los incrementos y pérdidas brutas para las regiones y ámbitos climáticos	17

4	<i>p</i> valores de pendiente de la recta formada por un modelo lineal general que pone en relación el cambio neto anual y los incrementos y pérdidas brutos con el período de la encuesta por región y ámbito climático	17
5	Prueba de ANOVA para el cambio neto anual de la superficie del bosque, por ámbito climático y año	18
6	Los resultados de REML para el cambio neto anual por ámbito climático y período de encuesta (1990–2000 y 2000–2005)	18
7	Cambio neto medio anual de la superficie de bosque e intervalos de 95 por ciento de confianza entre los períodos de la encuesta para las regiones y ámbitos climáticos de la FAO	19

Reconocimientos

La FAO y el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC) prepararon este informe sobre la Encuesta de Teledetección de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) 2010 en asociación y desean expresar su agradecimiento por el apoyo y aporte de muchas organizaciones, países miembros de la FAO, donantes, otros socios y expertos individuales.

La principal contribución, en términos de financiación operativa, para la Encuesta de Teledetección de FRA 2010 para el período 2009–11 fue realizada por la Comisión Europea. Apoyo complementario fue proporcionado a través de aportes financieros por parte de la Administración Nacional Aeronáutica y el Espacio (NASA), el Centro Heinz, el Gobierno de Australia y el Gobierno de Finlandia.

Se agradece a los Gobiernos de Australia, Brasil, Francia, Noruega y Los Estados Unidos por su contribución a través de recursos extrapresupuestarios y personal aportado.

Se reconoce y agradece la colaboración de más de 200 expertos forestales nacionales y expertos en teledetección que contribuyeron a realizar este informe, tanto directa, como indirectamente; sus nombres figuran en el Anexo 3. Esta colaboración fue clave para el éxito de la Encuesta de Teledetección de FRA 2010.

Los autores desean agradecer la contribución prestada por los siguientes miembros del personal de la FAO: Mette Løyche-Wilkie, Renato CUMANI, Antonio Di Gregorio, Emma Foti, Monica Garzuglia, Stefano Giaccio, Örjan Jonsson, John Latham, Antonio Martucci, Marisalee Palermo, Anssi Pekkarinnen e Ilaria Rosati. Varios consultores de la FAO también tuvieron participación, a saber: Ralph Ridder apoyó en el diseño de las muestras, Marieke Sandker revisó miles de muestras de teledetección y asistió en la gestión de la base de datos, y Susan Iremonger actualizó los mapas de ambitos climática.

Los autores también desean agradecer a los siguientes miembros del JRC y su colaborador, la Universidad de Louvain-La-Neuve por sus aportes: Catherine Bodart, Silvia Carboni, Pierre Defourny, François Donnay, Céline Ernst, Desirée Johansson, Pieter Kempeneers, Ouns Kissiyar, Andrea Lupi, Rastislav Raši, Roman Seliger, Dario Simonetti, Fernando Sedano, Lucia Seebach, Peter Strobl, Astrid Verheggen, Peter Vogt, Michael Vollmar y Carlos de Wasseige.

Tom Loveland y el personal de la encuesta Geológica de los Estados Unidos ayudaron a obtener grandes cantidades de datos Landsat necesarios para la Encuesta de Teledetección de FRA 2010. Matt Hansen, Peter Potapov y Anil Kommareddy (Universidad Estatal de Dakota del Sur) dieron su aporte en el procesamiento previo de datos Landsat, utilizados por la FAO.

Prólogo

Los bosques del mundo son claves para la subsistencia humana. Cada vez más se reconoce a los bosques el aporte que hacen a través de una amplia gama de productos y servicios esenciales para los ecosistemas. Nunca antes había sido tan importante contar con información precisa y actualizada sobre la extensión de los bosques del mundo y la manera en que éstos están cambiando.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha venido recopilando datos e informando acerca de los bosques del mundo por más de 60 años. Su Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA) coteja, analiza y tabula los datos aportados por los países miembros de la FAO acerca de una amplia gama de variables relacionadas con los bosques, elaborando informes cada cinco años. De particular interés es el cambio en la superficie de bosques y las dinámicas de la pérdida de bosques (deforestación y, en menor medida, la pérdida debida a causas naturales) y la recuperación (forestación y expansión natural de los bosques, por ejemplo en las tierras agrícolas abandonadas). Muchos países, sin embargo, carecen de datos suficientes o sucesivos, de mediciones comparables con las cuales establecer evaluaciones confiables acerca de los cambios que se han verificado en los bosques.

Con el rápido desarrollo, en los últimos 40 años, de sistemas satelitales de monitoreo mundiales, tales como la larga serie temporal de datos generados por Landsat, se cuenta con información sin precedentes con la cual llevar a cabo un estudio mundial exhaustivo sobre el cambio en la superficie de bosques. Es fundamental efectuar una observación detallada de la superficie de bosques – y la manera en que ésta ha cambiado en los años recientes.

Este informe de Teledetección de FRA 2010 es el primero en su especie en aportar estimaciones sistemáticas acerca del uso y cambio de uso de las tierras forestales. Es el resultado de muchos años de planificación y de tres años de trabajo detallado realizado por el personal de la FAO y del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC), además de los aportes de expertos técnicos de más de 100 países. Desde su inicio, la ambiciosa meta de la Encuesta de teledetección de FRA 2010 ha sido utilizar los datos de teledetección para obtener estimaciones mundiales coherentes de la superficie de bosques y los cambios en la cubierta de árboles y uso de las tierras forestales entre los años 1990 y 2005.

Se ha dicho que “no se puede administrar lo que no se puede medir”. Estamos satisfechos de la colaboración que se ha desarrollado entre la FAO, el JRC y los países miembros de la FAO con el fin de garantizar que las decisiones futuras acerca de los bosques se fundamenten en información confiable. Este informe es un paso firme en esa dirección. Agradecemos a los autores y a todos los colaboradores y recomendamos este informe a todos aquellos que quieran saber cómo están cambiando los bosques del mundo.



Eduardo Rojas-Briales
Subdirector General
Departamento Forestal
FAO



Maria Betti
Directora
Instituto para el Ambiente
y la Sostenibilidad
JRC

Siglas y abreviaturas

ANOVA	Análisis de varianza
EOSD	Observación Terrestre para el Desarrollo Sostenible de los Bosques (Canadá)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FRA	Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FAO)
GLS	Encuesta Terrestre Mundial Landsat (Encuesta Geológica de los Estados Unidos)
ha	Hectárea(s)
IFN	Inventario Forestal Nacional (Canadá)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
JRC	Centro Común de Investigación de la Comisión Europea
km	Kilómetro(s)
µm	Micrómetro
MMU	Unidad mínima de mapeo
MODIS VCF	Espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada, Campo continuo de vegetación
NLCD	Conjunto de datos nacionales de la cubierta de la tierra (Estados Unidos)
REML	Máxima verosimilitud restringida
RSS	Encuesta de teledetección de FRA
WRS	Sistema de referencia mundial

Resumen de Orientación

Este informe presenta los principales resultados acerca del uso y cambio de uso de las tierras forestales entre 1990 y 2005 según la Encuesta de Teledetección de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA 2010) de la FAO. Esta encuesta fue el resultado de la asociación entre la FAO, sus países miembros y el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC). Este es el primer informe de su especie en presentar estimaciones sistemáticas acerca del uso y cambio de uso de las tierras forestales mundiales.

UNA MUESTRA SISTEMÁTICA PARA OBTENER RESULTADOS CONFIABLES EN TÉRMINOS ESTADÍSTICOS Y COHERENTES EN TÉRMINOS MUNDIALES

La encuesta se basa en una muestra sistemática de imágenes satelitales Landsat para los años 1990, 2000 y 2005 localizadas en la intersección de cada grado de longitud y latitud. En términos globales se procesaron 15 779 sitios de muestreo para la cubierta de la tierra y el uso de la tierra. La cifra final de sitios de muestreo analizados fue de 13 066 después de incluir los sitios que carecen de datos, los valores atípicos y la revisión y verificación de los datos nacionales específicos (ver el Anexo 1). La superficie analizada en cada sitio de muestreo fue de 10 km × 10 km, arrojando una intensidad de muestreo de cerca del 1 por ciento de la superficie total de la tierra.

EL INFORME SOBRE EL USO DE LAS TIERRAS FORESTALES

Este informe se enfoca en el uso de las tierras forestales, no en la cubierta de la tierra. El uso de las tierras forestales se define como la superficie con cubierta de árboles, o donde la gestión o los procesos naturales terminarán por restaurar la cubierta de árboles, y el uso predominante es el forestal. En algunos casos, el uso de las tierras forestales puede incluir la tierra que temporalmente carece de cubierta de árboles por ejemplo durante los ciclos de rotación de cultivos, agricultura migratoria, plantaciones forestales y gestión forestal de masa regular. Este enfoque es coherente respecto a la definición de bosque utilizada por los informes nacionales de FRA y es similar a las clases empleadas en los informes nacionales presentados en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

SUPERFICIE DEL BOSQUE

La encuesta estima la superficie total de los bosques mundiales en 2005 en 3 mil 800 millones de hectáreas, o sea el 30 por ciento de la superficie total de la tierra.

LAS PÉRDIDAS ANUALES MUNDIALES DE LA SUPERFICIE DE BOSQUE FUERON MAYORES ENTRE 2000–2005 RESPECTO A 1990–2000

En su conjunto, hubo una disminución neta en la superficie mundial de bosques del 1.7 por ciento entre 1990 y 2005, a un ritmo anual de cambio de 0.11 por ciento. Esto equivale a un desplazamiento anual del uso forestal de la tierra a otros usos de la tierra, de 3 millones de hectáreas anuales entre 1990 y 2000 y de 6 millones de hectáreas anuales entre 2000 y 2005.

HA HABIDO DIFERENCIAS EN CUANTO A LA PÉRDIDA Y RECUPERACIÓN DE BOSQUES EN LAS DISTINTAS REGIONES

Las principales diferencias regionales se encontraron en las tasas netas de cambio en la superficie de bosque; sólo Asia y América del Norte han experimentado incrementos en la superficie de bosques y todas las demás regiones han sufrido pérdidas netas. América del Sur tiene la mayor tasa neta de pérdida de bosque y cerca de 3.3 millones de hectáreas

anuales entre 1990 y 2005. África tuvo la segunda mayor tasa de pérdida neta de bosques – 1.6 millones de hectáreas anualmente – durante el mismo período. Europa, incluyendo la Federación Rusa, tuvo una pérdida neta de 0.5 millones de hectáreas anualmente y Oceanía perdió únicamente por debajo de 0.1 millones de hectáreas anualmente. América del Norte experimentó un incremento neto de superficie del bosque de 0.2 millones de hectáreas anualmente, mientras que Asia tuvo un incremento neto de 1.4 millones de hectáreas anualmente entre 1990 y 2005.

LA PÉRDIDA DE BOSQUES FUE MAYOR EN EL TRÓPICO

En esta encuesta, los bosques fueron clasificados en cuatro ámbitos climáticos: boreal, subtropical, templado y tropical. Hubo un incremento significativo en la superficie de bosque en los ámbitos boreal (0.9 millones de hectáreas anualmente) y subtropical (1.1 millones de hectáreas anualmente) entre 1990 y 2005. También hubo un incremento neto en la superficie de bosque en el ámbito templado de 0.9 millones de hectáreas anuales durante el mismo período de tiempo.

Al contrario, el ámbito tropical tuvo una pérdida neta de superficie de bosque de 6.8 millones de hectáreas anuales entre 1990 y 2005. Esta reducción neta en el uso de las tierras forestales fue casi 2.5 veces el incremento neto de superficie de bosque en el conjunto de las demás tres zonas.

1. Introducción

Los bosques abarcan cerca del 30 por ciento de la superficie de la tierra. En todas las escalas espaciales, desde la local a la mundial, los árboles y los bosques desempeñan un papel clave en la subsistencia humana, así como en el funcionamiento del ecosistema y su salud. En muchas comunidades locales alrededor del mundo, las personas dependen diariamente de los bosques, recogiendo leña, extrayendo productos maderables y no maderables, así como a través de la gestión comunitaria de los bosques. Los bosques también proporcionan madera para propósitos comerciales en gran escala, habitat para más de la mitad de las especies terrestres del mundo, agua potable y otros servicios importantes del ecosistema.

Comprender la condición y los cambios de los valiosos recursos forestales del mundo en el curso del tiempo, es importante para el bienestar mundial y la salud del ecosistema. Por ejemplo la cubierta de la tierra y el cambio de uso de la tierra pueden afectar los climas a niveles regional y mundial al emitir o capturar carbono (Pan *et al.*, 2011) y al alterar las propiedades generales de la reflectancia de la superficie de la tierra (Feddema *et al.*, 2005; Avissar y Werth, 2005). Es probable que en 2100, el cambio de uso de la tierra – principalmente la deforestación – habrá tenido un impacto aún mayor sobre la biodiversidad, que respecto al cambio climático (Sala, 2000).

La FAO analiza y compila los datos acerca de la situación de los bosques del mundo a través de un proceso denominado la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (FRA). Publicado cada 5–10 años, el informe de FRA refleja los principales temas de interés durante el período que comprende el informe. En respuesta a las necesidades de la segunda posguerra mundial, los primeros informes de FRA se enfocaron en las reservas de madera, mientras que en las ediciones más recientes, incluyendo la de FRA 2010 (FAO, 2010), se han abordado temas tales como la biodiversidad del bosque, las reservas de carbono y los beneficios sociales que los bosques aportan.

FRA es una importante fuente de información que contribuye a los esfuerzos realizados mundialmente para ejercer la gestión sostenible de los bosques, reducir la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera y avanzar en otras iniciativas internacionales. Según las directrices para los inventarios de gas de efecto invernadero, publicados por el Panel Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Paustian, Ravindranath y van Amstel, 2006), la FAO constituye la principal fuente de datos acerca de las actividades y los factores de emisión en lo relativo a los bosques y otras categorías de uso de la tierra en los cálculos de la clasificación 1. Las directrices del IPCC sugieren que, al no contar con datos nacionales más detallados, se puede obtener información agregada a partir de fuentes de datos internacionales tales como FRA.

LA ENCUESTA DE TELEDETECCIÓN DE FRA 2010

La Encuesta de Teledetección de FRA 2010 fue el resultado de una asociación entre la FAO, sus países miembros y el Centro Común de Investigación de la Unión Europea (JRC). Su propósito era obtener información coherente a nivel mundial acerca de la extensión de la superficie y los cambios en la cubierta de árboles y en el uso de las tierras forestales entre 1990 y 2005 a niveles regional, de ámbito climático y mundial. Este informe presenta los resultados del componente de la encuesta sobre el uso de las tierras forestales a nivel mundial.

En una serie de estudios nacionales, regionales y mundiales (por ej. Hansen *et al.*, 2008; Stehman, Sohl y Loveland, 2005; Potapov *et al.*, 2008; Eva *et al.*, 2010), los enfoques de muestreo fueron exitosos al producir resultados sobre el cambio en la superficie del bosque con un nivel aceptable y conocido de precisión. En encuestas de teledetección anteriores, un enfoque basado en muestras grandes de imágenes satelitales sobre regiones geográficas amplias demostró ser apropiado para capturar estimaciones de parámetros a nivel regional (i.e. > 100 000 hectáreas (ha)) y a escalas continentales (Czaplewski, 2002).

La muestra sistemática fue seleccionada por cuatro razones principales (Ridder, 2007): la cubierta de la tierra muestra tendencias a escalas regional y continental y no se tomaron en cuenta suposiciones *a priori* de intensidad de cambio de la superficie del bosque; el diseño de la cuadrícula de latitud-longitud carece de sesgo político y es fácil de comprender; la ubicación de las muestras puede ser identificada fácilmente en los mapas; y las evaluaciones forestales nacionales apoyadas por la FAO están diseñadas y basadas en la misma cuadrícula.

FUENTES DE IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes provenientes de la Encuesta Terrestre Mundial Landsat de la Encuesta Geológica de los Estados Unidos (GLS) proporcionaron la mayoría de los datos para la clasificación e interpretación (Gutman *et al.*, 2008). El sensor Landsat proporciona la cobertura mundial, una serie temporal larga de imágenes satelitales, y las características espectrales y espaciales apropiadas para la detección de cambios en la cubierta de árboles. Las adquisiciones de Landsat están referenciadas a la superficie de la tierra por medio de una cuadrícula *Path* (órbita aproximada del satélite) y *Row* (centro nominal de la escena o imagen) denominada Sistema de Referencia Mundial (WRS). La Encuesta Geológica de los Estados Unidos (GLS) es un conjunto de datos de distintos períodos de tiempo, coherente en términos espaciales, integrado por las mejores imágenes Landsat para cada cuadrícula del WRS y abarca la mayor parte de la superficie de la tierra, enfocándose en los años 1975, 1990, 2000 y 2005.

Para cada sitio de muestreo, se recopilieron las bandas ópticas de Landsat de 1–5 y 7 provenientes de los conjuntos de datos de GLS1990, GLS2000 y GLS2005. Éstas fueron acopladas a un cuadrado de 20 km × 20 km centrado sobre cada intersección de un grado de latitud y longitud a fin de crear subconjuntos de imágenes. La parte central de 10 km × 10 km de cada subconjunto de imágenes fue utilizada para los cálculos de superficie y análisis estadístico. En áreas en donde las adquisiciones de GLS eran nebulosas o carecían de correspondencia estacional, se hizo un esfuerzo para obtener imágenes adicionales del archivo de datos de Landsat o directamente de las estaciones terrestres regionales (para más detalles sírvase consultar Beuchle *et al.*, 2011; Potapov *et al.*, 2010; Seebach *et al.*, 2010).

Para los ámbitos climáticos boreal, templado y subtropical, se supuso que los datos GLS eran los mejores a disposición. Si se contaba con más de una adquisición de GLS para determinado sitio y fecha, la adquisición GLS con la menor cubierta de nubes fue seleccionada para la clasificación (Lindquist *et al.*, presentado).

PROCESAMIENTO PREVIO DE IMÁGENES

Las imágenes fueron procesadas previamente a fin de corregir las diferencias radiométricas provocadas por cambios en la calidad atmosférica o por las distintas características de los sensores entre las diferentes fechas de adquisición de las imágenes de un mismo sitio. La normalización de imágenes tiene el efecto de normalizar los valores de los números digitales relativos a la cubierta de árboles densa en cada sitio y permite las aplicaciones más eficientes de los algoritmos de clasificación automatizada (Toivonen *et al.*, 2006; Potapov *et al.*, 2010; Hansen *et al.*, 2008). Potapov *et al.* (2010) describen los métodos de procesamiento previo utilizados por el equipo de la FAO

para las áreas situadas fuera del trópico. Bodart *et al.* (2011) describen los métodos de procesamiento previo utilizados por el equipo del JRC para los sitios situados en el trópico y en África subsahariana.

CLASIFICACIÓN AUTOMATIZADA DE LA CUBIERTA DE LA TIERRA

La FAO y el JRC llevaron a cabo clasificaciones automatizadas de la cubierta de la tierra de imágenes procesadas previamente. El equipo del JRC procesó los sitios ubicados en el ámbito del trópico, África subsahariana (Beuchle *et al.*, 2011) y Europa Oriental (Seebach *et al.*, 2010) como parte de los proyectos en curso TREES-3, MONDE y FOREST (JRC 2010; ver Raši *et al.*, 2011 para obtener más detalles acerca del proceso de clasificación de la cubierta de la tierra del JRC). El equipo de la FAO procesó todos los demás sitios (Figura 1). Aunque hubo algunas diferencias en los métodos de procesamiento utilizados por los dos equipos, el procesamiento en general, y sobre todo las clasificaciones resultantes, son comparables. Los métodos de procesamiento consistían en los siguientes componentes comunes:

- Adquisición de datos;
- Procesamiento previo de datos y normalización de imágenes;
- Segmentación de imágenes;
- Clasificación de imágenes.

La segmentación automatizada de los polígonos de la cubierta de la tierra y la clasificación previa de los tipos de cubierta de la tierra tienen dos objetivos principales: crear un conjunto de datos coherente en términos espaciales y temporales y evitar la delineación manual, reduciendo por lo tanto el esfuerzo que conlleva la revisión y verificación visual de las etiquetas de la cubierta de la tierra y del uso de la tierra.

La metodología de clasificación de la cubierta de la tierra de la FAO–JRC consistió en cuatro etapas:

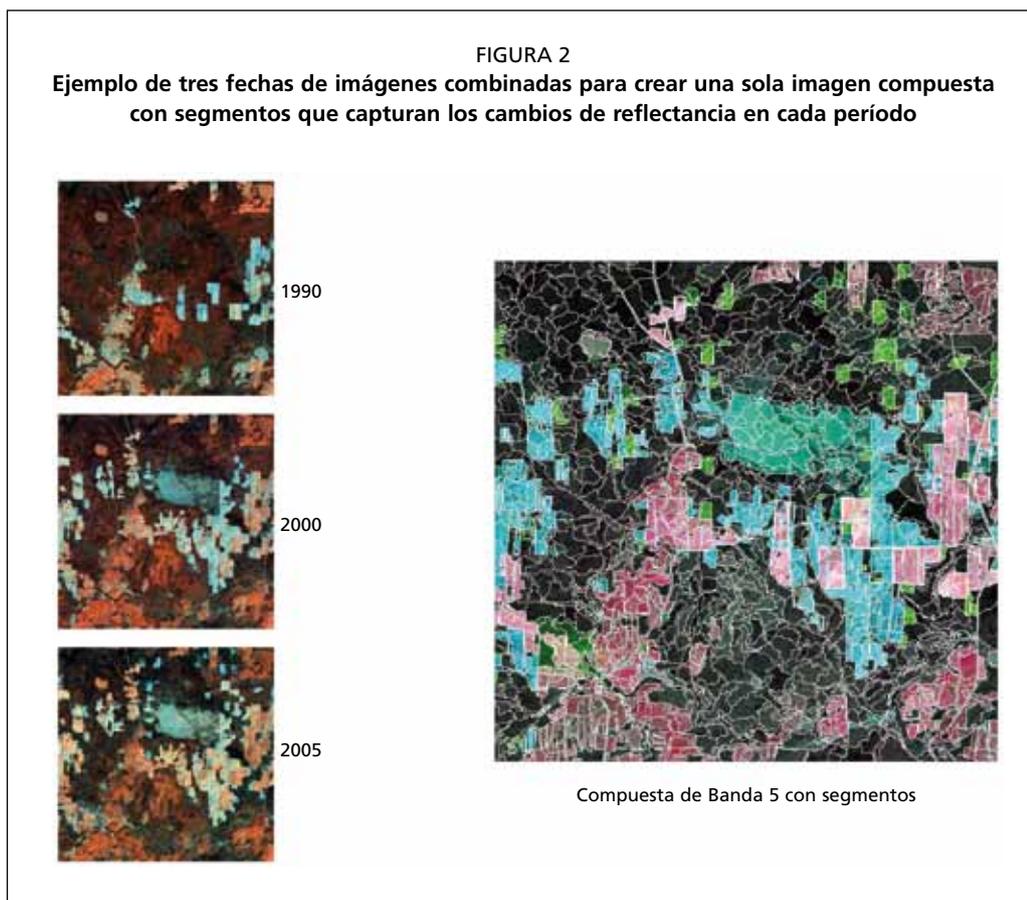
- Segmentación de las imágenes de nivel 1 (que no tienen unidades de mapeo mínimas o MMU) y de nivel 2 (MMU de una dimensión aproximada de 5 ha);
- Recopilación de datos de entrenamiento de los sitios representativos para una clasificación supervisada;
- Construcción de modelo y clasificación de la cubierta de la tierra para objetos de nivel 1;
- Asignación de la clasificación de la cubierta de la tierra para objetos de nivel 2.

Todas las funciones de segmentación y de clasificación supervisada fueron llevadas a cabo utilizando el software de procesamiento y segmentación de imágenes eCognition®.¹

La segmentación de imágenes es el proceso que consiste en dividir una imagen al agrupar los píxeles similares en aglomeraciones denominadas objetos (llamados regularmente segmentos o polígonos) basados en la similitud del espectro y la particularidad espacial. Los criterios para crear objetos imágenes a partir de píxeles individuales en eCognition® pueden ser controlados por el operador al especificar los valores para una serie de parámetros tales como, el tamaño, la forma y el grado de verosimilitud a ser obtenido en el proceso de segmentación. Estos valores afectan la formación de aglomeraciones y controlan la forma y tamaño de los objetos creados en general (Batz y Schappe, 2000).

Una rutina de segmentación de múltiples datos utilizó bandas de imágenes de Landsat de los tres períodos de la encuesta a fin de crear un solo nivel que contenía objetos basados en información espectral de cada período (Figura 2). La segmentación de imágenes fue implementada en dos etapas. El método de la FAO era similar a las rutinas de segmentación descritas por Raši *et al.* (2011), utilizando parámetros que permitieron la creación de objetos pequeños de formas irregulares basados en los valores de reflectancia espectral de las bandas de Landsat 3, 4 y 5 (0.63–1.75 μm). Estas bandas fueron escogidas por su capacidad de establecer diferencias en la reflectancia de superficie provocada por cambios en el tipo de vegetación (Desclée, Bogaert y Defourny, 2006; Duveiller *et al.*,

¹ www.ecognition.com/products/ecognition-developer.



2008). La primera segmentación (es decir, el nivel 1) creó objetos muy pequeños que variaban desde un píxel de Landsat a más de 100 ha y variaban de manera inversa con la heterogeneidad espectral de la imagen Landsat subyacente.

La imagen más reciente (es decir, de 2005) fue segmentada primero. Los objetos creados durante este proceso fueron utilizados para forzar la segmentación de la imagen de 2000 y, a su vez, para que dichos objetos forzaran la segmentación de la imagen de 1990. Para el trópico, la segmentación se aplicó primero al par de imágenes de 1990 y 2000, y luego, los objetos de 2000 fueron utilizados para forzar la segmentación de la imagen de 2005.

La MMU deseada de los segmentos de nivel 2 era de 5 ha (Ridder, 2007). Se obtuvo al agregar los segmentos de nivel 1 menores de 5 ha a los objetos adyacentes que tenían la reflectancia promedio más parecida de banda 5 de Landsat. La reflectancia infrarroja de onda corta fue utilizada debido a su eficacia en las aplicaciones de mapeo forestal (Horler y Ahern, 1986; Hoffhine y Sader, 2002). La clasificación de la cubierta de la tierra fue llevada a cabo en los segmentos espectralmente homogéneos de nivel 1. A los segmentos de nivel 2 se les asignaron etiquetas de clasificación según la composición porcentual subyacente definida por los segmentos de nivel 1 (Tabla 1).

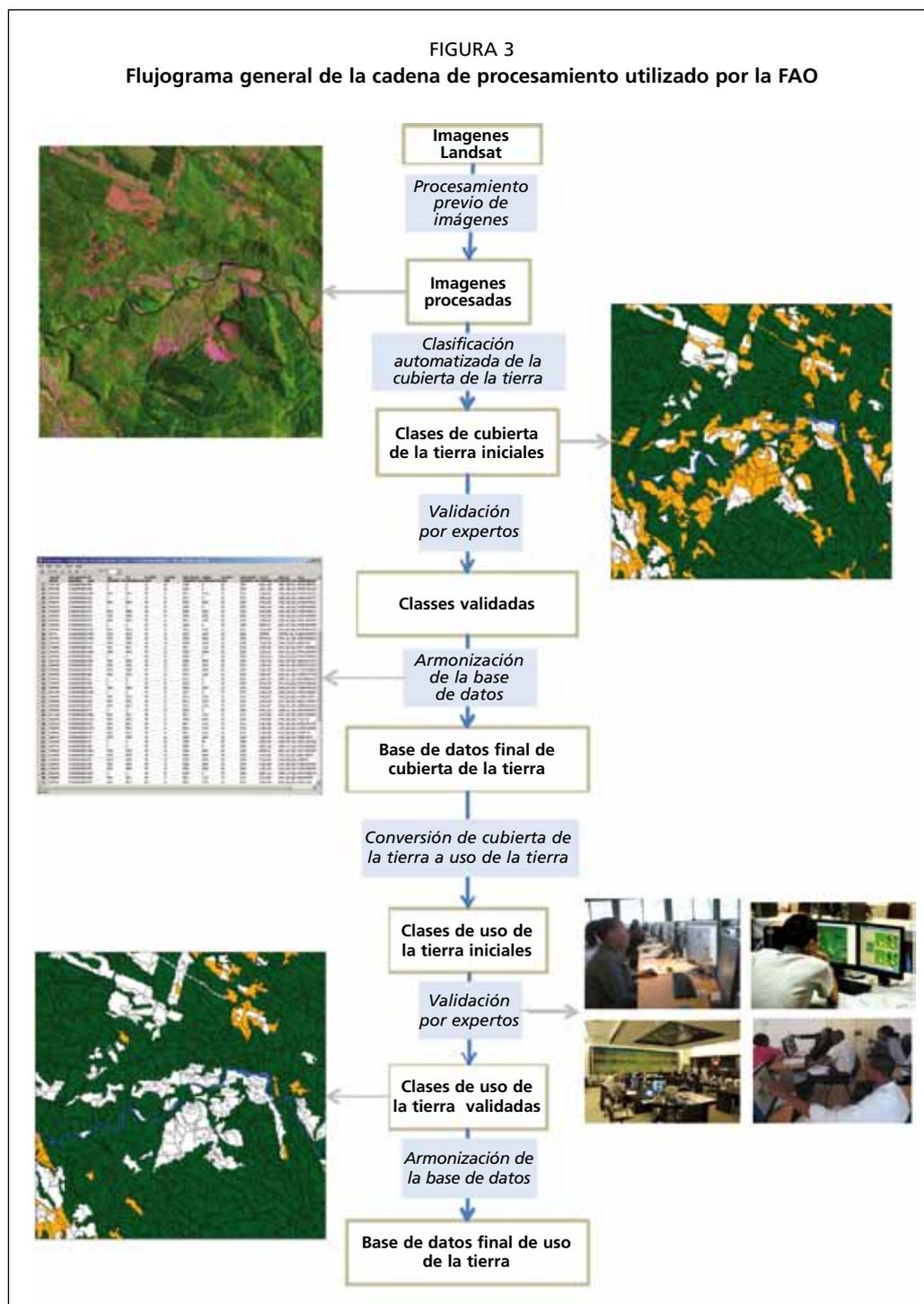
Debido a la gran cantidad de muestras y a la complejidad que conlleva la clasificación de cada sitio, un enfoque de clasificación automatizada supervisada fue seleccionado como la mejor opción de procesamiento. La metodología de clasificación en general (ilustrada en forma de flujograma general en la Figura 3) se realizó de la siguiente manera:

- Para cada sitio y fecha, se produjo una clasificación de la cubierta de la tierra utilizando las siguientes clases – *cubierta de árboles*, *cubierta de arbustos*, *otras tierras* (que incluyen la cubierta herbácea y el suelo desnudo/sin vegetación, que fueron agrupados y no se muestran separadamente), *agua* y *ningún dato*. Estas clases correspondían ampliamente a las directrices de buenas prácticas de uso de

TABLA 1
Modelo de etiquetamiento de cubierta de la tierra de MMU de 5 ha de nivel 2 basado en la composición porcentual de los segmentos de nivel 1 subyacentes, colocados en orden de prioridad descendente

Nivel 1	% composición	Etiqueta de cubierta de nivel 2
Cubierta de árboles	≥ 30	Cubierta de árboles
Cubierta de arbustos	≥ 70	Cubierta de arbustos
Otras tierras	≥ 70	Otras tierras
Agua	≥ 70	Agua

FIGURA 3
Flujograma general de la cadena de procesamiento utilizado por la FAO



la tierra del IPCC (Paustian, Ravindranath y van Amstel, 2006) al ser convertidas finalmente en etiquetas de uso de la tierra.

- Las imágenes de 2000 se clasificaron primero. Cuando había poca probabilidad de detectar cambios entre las encuestas, la etiqueta de clase para los objetos presentes en el estrato de objetos imagen de 2000 fue transferida a los niveles de objetos imagen de 1990 y 2005.
- Al determinar que los objetos tenían una alta probabilidad relativa de cambio entre 1990 y 2000 y entre 2000 y 2005 éstos fueron clasificados separadamente utilizando datos de entrenamiento seleccionados automáticamente entre los objetos sin cambio del mismo período.
- A los objetos MMU de 5 ha se les asignaron etiquetas de clase de conformidad con la proporción de objetos etiquetados con el nivel 1 que contenían.

ENTRENAMIENTO DE LA CLASIFICACIÓN

La amplia gama de características biofísicas que la cubierta de árboles mostraba a nivel mundial constituyó un reto para el entrenamiento de la recopilación de datos. Por ejemplo, las coníferas densas, oscuras y perennes tienen diferentes características respecto a las especies perennes latifoliadas, que a su vez, difieren de las características de los árboles latifoliados deciduos. Las variaciones en las características biofísicas, la estacionalidad cambiante y las condiciones de iluminación debidas al ángulo del sol y la posición de la pendiente se combinan para afectar las propiedades de la reflectancia espectral de la cubierta de árboles, dificultando así la creación de modelos basados en la reflectancia que puedan clasificar con precisión la cubierta de árboles en su multiplicidad de formas en todo el mundo. La metodología de clasificación de la FAO intentó dar cuenta de esta variación al aplicar un único método para crear modelos de clasificación de la cubierta de árboles a nivel mundial para cada sitio de muestreo y período. Por lo tanto, se crearon y aplicaron tres modelos distintos de clasificación de cubierta de la tierra en cada sitio de muestreo, uno para cada período.

Para los sitios en los ámbitos boreal, templado y subtropical, etiquetas de entrenamiento para cada clase de cubierta de la tierra se asignaron a los objetos imagen de nivel 1, utilizando espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) Campos continuos de vegetación (VCF) que coincidía temporalmente con el año 2000 (Hansen *et al.*, 2003) y los productos de cubierta de la tierra de GlobCover de 2005 (Arino *et al.*, 2008). Etiquetas de clase de entrenamiento para cuerpos de agua fueron asignadas basándose en la proporción de los píxeles de la máscara de agua mundial MODIS (Carroll *et al.*, 2009) que se ubicaban dentro de un objeto imagen individual. Los datos de GlobCover fueron utilizados para asistir en la clasificación de la cubierta de la tierra en donde los arbustos eran predominantes.

Se utilizaron clasificadores de red neuronal artificial para producir clasificaciones de cubierta de la tierra para los sitios de muestreo procesados por la FAO. La red fue entrenada para cada sitio y luego aplicada a los objetos imagen de todo el año 2000. A los objetos con las mismas o similares características espectrales en 1990 y 2005 así como en 2000 se les asignaron automáticamente etiquetas de la cubierta de la tierra del objeto imagen de 2000. Cuando se detectó un cambio espectral considerable entre 1990 y 2000 o entre 2000 y 2005, a los objetos imagen de 1990 y 2005 se les asignaron etiquetas basadas en modelos de clasificación creados individualmente para 1990 y 2005. Los métodos utilizados se detallan en Lindquist *et al.* (presentado).

En el caso del trópico, la clasificación de la cubierta de la tierra basada en el objeto de nivel 1 se sirvió de una biblioteca espectral supervisada (Raši *et al.*, 2011). Las firmas espectrales fueron recopiladas a partir de un conjunto común de áreas de entrenamiento que representaban las principales clases de cubierta de la tierra existentes en el trópico. Para este fin, se utilizaron los datos previamente procesados de Landsat ETM+ para el año 2000 de todos los sitios de muestreo en una subregión. Para cada clase principal de

cubierta de la tierra, se identificaron varias subclases, que representan las variaciones debidas a la condición del sitio o subtipo de cubierta de la tierra. Para la *cubierta de árboles*, por ejemplo, las subclases identificadas fueron bosques perennes densos, bosques perennes degradados, bosques latifoliados secos, manglares y bosques palustres. Para cada subclase, se seleccionaron varias áreas de entrenamiento. La cantidad de píxeles utilizados para establecer la firma espectral de una subclase fue, en general, superior a 1 000. Las estadísticas de firma espectral (desviaciones medias y estándar) fueron calculadas a nivel de subclase. Para Asia del Sur y Asia del Sudeste, por ejemplo, se establecieron 73 firmas espectrales como insumos para la clasificación digital de las cuatro principales categorías de cubierta de la tierra. Una clasificación supervisada genérica de los objetos de nivel 1 de segmentación se llevó a cabo de manera uniforme para todos los sitios de muestreo, basada en las funciones de membresía establecidas a partir de la firma espectral de cada subclase para las bandas espectrales 3, 4 y 5 de Landsat. Las funciones de membresía fueron definidas como una aproximación de la distribución de la probabilidad de clase. Estas funciones de membresía fueron sucesivamente aplicadas a las imágenes de los tres años, es decir, prolongando las firmas espectrales a 1990 y 2005. Las subclases resultantes de la clasificación supervisada no fueron mapeadas como categorías temáticas de cubierta de la tierra separadas sino que contribuyeron al mapeo de las cuatro principales clases de cubierta de la tierra.

El resultado de la clasificación supervisada obtenido para los objetos de nivel 1 sirvió como insumo directo para la agregación temática realizada en el nivel de segmentación 2 (con un MMU de 5 ha). La asignación de etiquetas de los objetos de nivel 2 fue realizada al pasarlas a través de una lista secuencial de criterios de clasificación (Tabla 1). Para fines de monitoreo forestal, el énfasis principal se hizo en la cubierta de árboles y la proporción de la cubierta de árboles dentro de los objetos de nivel 2. Para los sitios ubicados en el trópico, se introdujo una *clase de cubierta de árboles en mosaico* para los objetos que contienen una cubierta de árboles parcial en el nivel 2: por ejemplo, una unidad de mapeo que contiene el 40 por ciento de cubierta de árboles (= superficie total de objetos de cubierta de árboles agregada de nivel 1) aún seguía siendo etiquetada como *cubierta de árboles en mosaico*. Los objetos de nivel 2 fueron las únicas etiquetas de objeto imagen tomadas en consideración para el proceso de examen y revisión de expertos descrito en las secciones sucesivas.

CLASES DE USO DE LA TIERRA

Las clasificaciones de uso de la tierra se basaron en las definiciones de los bosques de la FAO (FAO, 2010), de la siguiente manera:

- *Bosque* – tierra de más de 0.5 ha con árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de copas de más del 10 por ciento, o árboles capaces de alcanzar este umbral *in situ*. Esto no comprende la tierra que tiene un uso predominantemente agrícola o urbano.
- *Otras tierras boscosas* – la tierra que no ha sido clasificada como *bosque*, comprendida de más de 0.5 ha; con árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de copas del 5–10 por ciento, o árboles capaces de alcanzar ese umbral *in situ*, o que posee una cubierta mixta de maleza, arbustos y árboles superior al 10 por ciento. Éstas no incluyen la tierra que se encuentra bajo un uso predominantemente agrícola o urbano.
- *Otras tierras* – todas las tierras que no han sido clasificadas como bosque u otras tierras boscosas.

CONVERSIÓN DE CUBIERTA DE LA TIERRA A USO DE LA TIERRA

La conversión de la clase cubierta de la tierra a la clase uso de la tierra consistió en un proceso de dos etapas. La primera consistía en la conversión automatizada de las clases de cubierta de la tierra a etiquetas de uso de la tierra preliminares (Figura 4). Se presumió que esta conversión incluía la mayoría de los polígonos en el conjunto de datos. Sin embargo,

la cuantificación precisa de los verdaderos cambios de uso de la tierra es complicada. El verdadero uso de la tierra de una superficie dada debe ser objeto de examen en un contexto ecológico, que no sólo incluye determinar la proporción de vegetación presente en el momento en que fue tomada la imagen satelital, sino también cómo la tierra responderá en el futuro (por ejemplo, mediante la regeneración, forestación o deforestación) (Kurz, 2010).

En términos operativos, las definiciones de la FAO requerían de una interpretación de expertos a fin de proporcionar el contexto necesario para la categorización precisa del uso de la tierra, especialmente cuando existen excepciones a las reglas automatizadas. Las excepciones fueron las siguientes (ver también Figura 4):

- Las clases de cubierta de la tierra *cubierta de árboles* y *cubierta de árboles en mosaico* fueron convertidas en la clase de uso de la tierra *bosque*. Los expertos buscaron excepciones en donde los usos de la tierra eran urbanos (por ej. árboles en parques o jardines alrededor de las casas) o agrícolas (por ej. huertos). Las áreas urbanas con árboles, huertos, plantaciones de palma africana, tierras agrícolas con árboles y áreas bajo un uso agroforestal fueron identificadas y recodificadas manualmente como *otros usos de la tierra con cubierta de árboles*.
- *La cubierta de arbustos* fue convertida a la clase *otras tierras boscosas*. Los expertos buscaron excepciones, tales como áreas de repoblación en donde los árboles tenían la probabilidad de crecer más de 5 metros, y las recodificaron como *bosques*.
- *Otra cubierta de la tierra* fue convertida a *otro uso de la tierra*. Los expertos buscaron excepciones tales como áreas temporalmente desprovistas que podrían no haber tenido árboles en el momento de la toma de la imagen satelital pero que tenían la probabilidad de regenerarse o de ser plantadas, en cuyo caso éstas fueron recodificadas como *bosque*.

INTERPRETACIÓN DE EXPERTOS, VALIDACIÓN Y CORRECCIÓN DE LAS CLASES CUBIERTA DE LA TIERRA Y USO DE LA TIERRA

La asignación final de las etiquetas de cubierta de la tierra y uso de la tierra fue realizada por expertos nacionales forestales o en teledetección seleccionados. Las verificaciones visuales fueron efectuadas en todas las imágenes de los tres períodos de la encuesta a fin de examinar y revisar las etiquetas de cubierta de la tierra y uso de la tierra asignadas

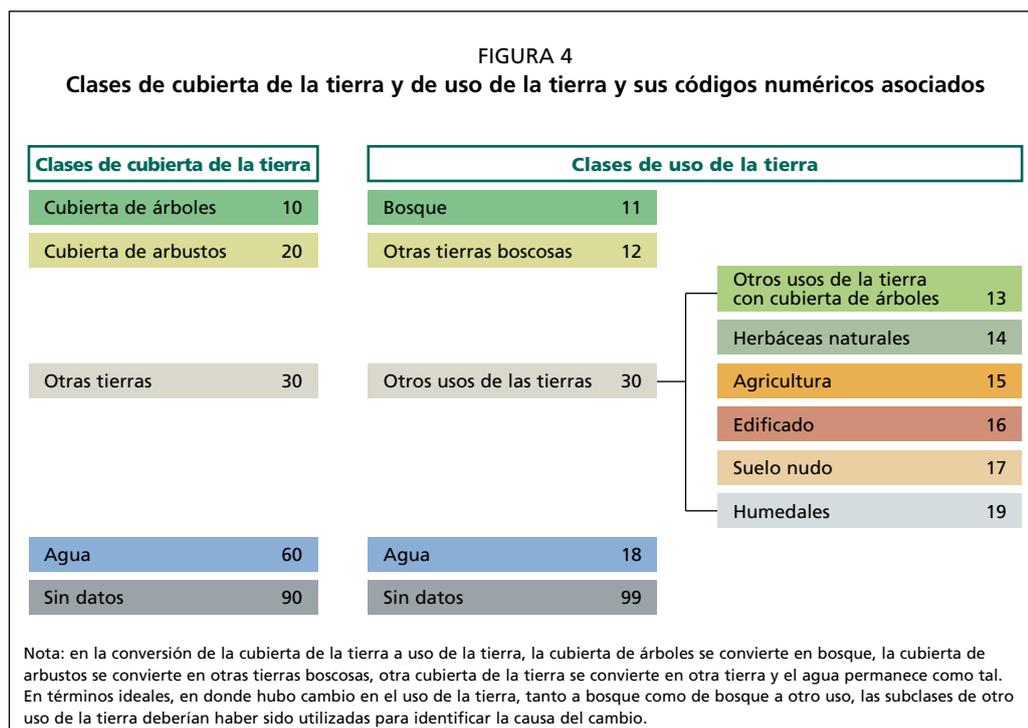
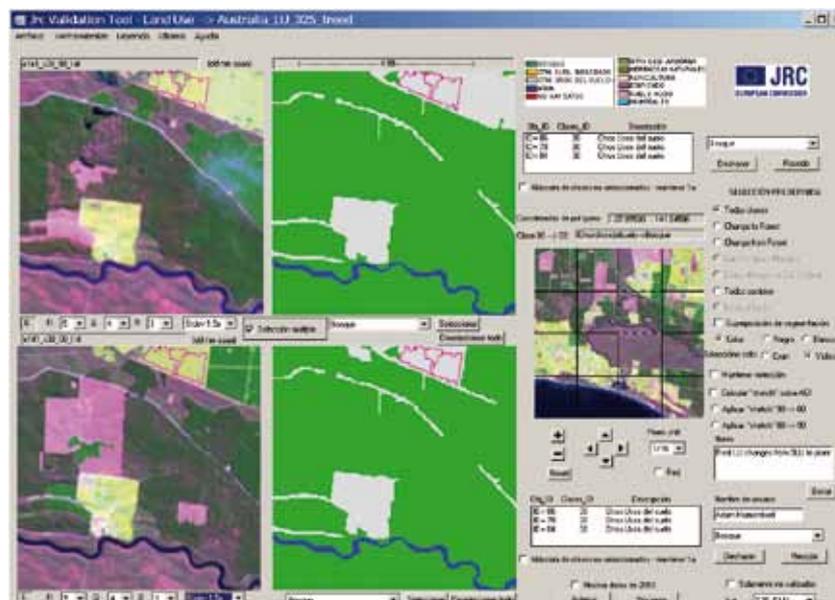


FIGURA 5
Interfaz del usuario del instrumento de validación de el JRC mostrando imágenes Landsat de cada período de la encuesta (izquierda) y clases de uso de la tierra de la FAO (centro)



de manera automatizada. El JRC desarrolló una aplicación informática específica y autónoma para este propósito (Simonetti, Beuchle y Eva, 2011). El objetivo de este instrumento era proporcionar un interfaz amigable con un conjunto de funciones fáciles de usar para navegar y evaluar un conjunto de datos de imágenes satelitales y mapas de cubierta/uso de la tierra, y recodificar de manera eficaz las áreas en donde, según el juicio de los expertos, se requería efectuar cambios (Figura 5).

El control visual y afinamiento de los resultados de la clasificación digital en el nivel de objeto 2 fue implementado en tres etapas:

- Los errores obvios efectuados por la clasificación automatizada fueron corregidos.
- Durante los talleres regionales, una revisión de los resultados de mapeo fue efectuada por expertos nacionales, quienes aportaron conocimiento forestal local a fin de mejorar la interpretación. Diecinueve talleres regionales fueron realizados entre septiembre de 2009 y julio de 2011, con la participación de 204 expertos nacionales de 107 países (Anexo 3).
- Durante una fase final de armonización a nivel regional, intérpretes expertos en imágenes realizaron una revisión final de errores pasados por alto o vueltos a introducir por error y controlaron la coherencia de la interpretación a lo largo de las regiones, aplicando las correcciones finales en donde era necesario.

El examen y la revisión de la clasificación fueron apoyados por imágenes satelitales de muy alta resolución, por Google Earth™, imágenes a partir del Proyecto de Confluencia de Grados², Panoramio™, y mapas de vegetación existentes cuando estos se encontraban disponibles. El conocimiento de expertos de campo específicos también fue importante. La fase de control visual y de afinamiento fue diseñada como componente crucial para la corrección de los errores de clasificación y para la implementación de la evaluación de cambios.

² www.confluence.org.

3. Análisis de datos

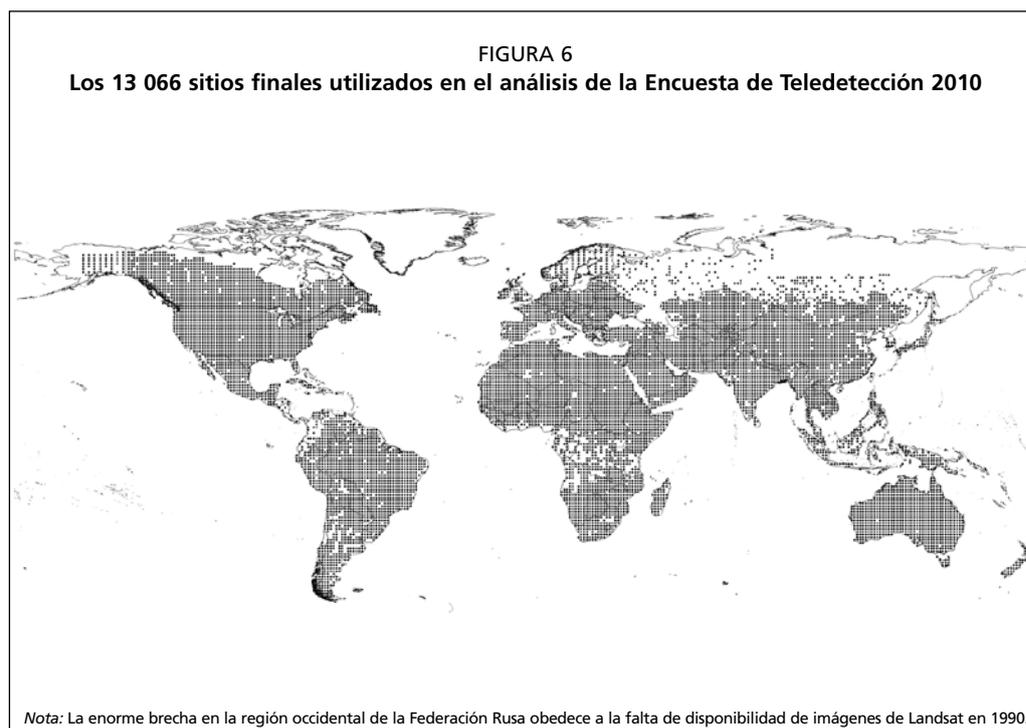
Todos los cálculos utilizados en ese informe figuran en el Anexo 4.

SIN DATOS

Las áreas obscurecidas por nubes o que carecían de datos debido a una cobertura satelital deficiente o debido a imágenes de baja calidad fueron codificados como “sin datos” tanto en el polígono de cubierta de la tierra, como el de uso de la tierra. Las imágenes afectadas por sombras y por nubes fueron más comunes en el trópico (Ju y Roy, 2008; Asner, 2001); cerca del 9 por ciento de los 4 016 sitios de muestreo tropicales carecían de datos para 2005. Cuando fue posible, las áreas obscurecidas por nubes o por sombras fueron recodificadas manualmente por medio de un examen de la misma ubicación, utilizando imágenes grabadas en fechas anteriores o posteriores, o utilizando conjuntos de datos nacionales, Google Earth® o conocimientos locales.

Las áreas “sin datos” se consideraron como una pérdida de información no sesgada. Al no ser resuelta por medio de los métodos mencionados anteriormente, una clasificación de “sin datos” identificada en un determinado período de tiempo fue transferida a las etiquetas de cubierta de la tierra y uso de la tierra en los demás períodos durante el análisis realizado, a fin de garantizar que sólo las superficies con datos factibles presentes en todos los períodos de la encuesta fueran analizadas. Los sitios de la encuesta que carecían de una imagen de Landsat en cualquiera de los períodos de tiempo fueron excluidos del análisis. Finalmente se procesaron 13 066 sitios para generar los resultados después de que los sitios “sin datos” habían sido considerados (Figura 6 y Anexo 2).

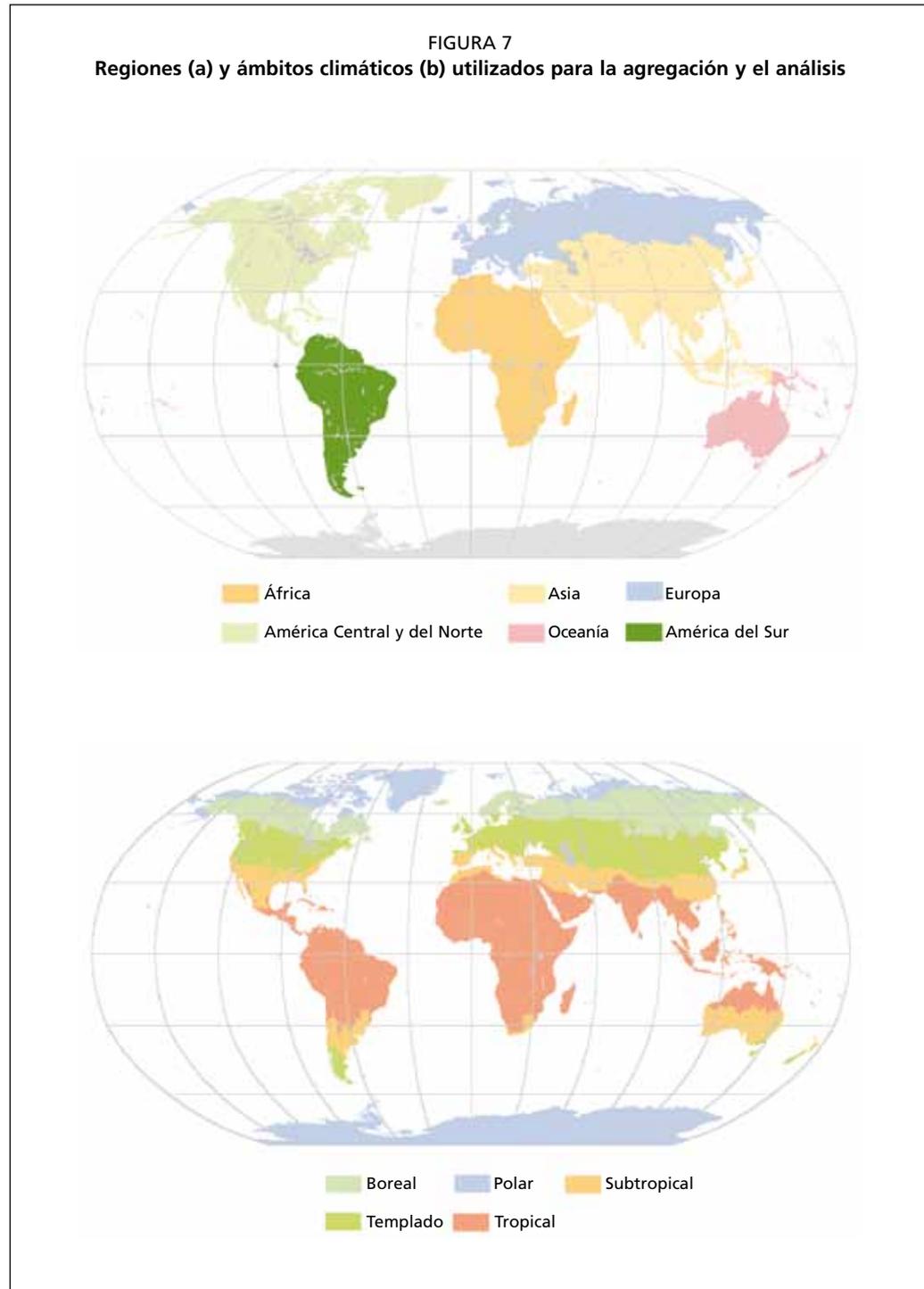
La proporción de bosques, así como de grandes incrementos y pérdidas fueron calculados en correspondencia con la superficie total de todos los objetos imágenes factibles, o “buenas tierras”. Las buenas tierras fueron consideradas como cualquier objeto que no hubiese sido clasificado como agua o “sin datos” (Anexo 4, ecuación 1).



AJUSTE DE LA LATITUD Y CÁLCULO DE LA SUPERFICIE

Debido a la curvatura de la Tierra, la superficie real representada por una cuadrícula de muestra de latitud/longitud disminuye con la latitud. Los análisis de la superficie de bosque y cambio en la superficie de bosque deben tomar en consideración este aspecto, aplicando una corrección a las mediciones de superficie (Anexo 4, ecuación 2).

A los sitios también se les atribuyó un valor equivalente a la proporción de la superficie total encuestada, representada por dicho sitio. Tanto el valor de la latitud, como de la superficie fueron incorporados en el análisis de la encuesta (Anexo 4, ecuación 3).



AGREGACIÓN PARA LOS ANÁLISIS DE LOS ÁMBITOS REGIONAL Y CLIMÁTICO

Las clasificaciones de uso de la tierra fueron resumidas en base a cada parcela y luego agregadas por región según la clasificación de FRA y según la clasificación del ámbito climático de la FAO (Figura 7) (FAO 2012). Cada sitio de la encuesta fue asignado a la región de FRA y al ámbito climático de la FAO dentro del cual se ubicaba la mayor parte del sitio. Los datos de la encuesta fueron analizados utilizando los paquetes de software estadístico R (2.12.2) y Systat (Ver. 13).

SUPERFICIE DE BOSQUES: INCREMENTOS Y PÉRDIDAS

La superficie total de bosque se determina utilizando el estimador directo Horvitz-Thompson de conformidad con Eva *et al.* (2010) – es decir, calculando la proporción media de bosque (Anexo 4, ecuación 4) en todos los sitios de muestreo dentro de una región o ámbito climático y multiplicando esta cifra por la de la superficie total de la tierra de la región. La superficie de bosque de cada sitio fue calculada en la fecha nominal de la adquisición de la imagen: es decir, sin tomar en cuenta la fecha de la toma real de la imagen. Los totales de la superficie de bosques a nivel mundial fueron calculados al sumar la superficie total de bosques por región. Esta operación se realizó porque los intervalos de confianza de los totales regionales eran inferiores al de los ámbitos climáticos (Tabla 2). Un enfoque similar fue utilizado para calcular los incrementos y pérdidas brutos y netos. Todos los cálculos se realizaron por medio de la proyección cartográfica superficie equivalente de Mollweide.

ENMARCANDO LOS CAMBIOS VERIFICADOS EN LA SUPERFICIE DE BOSQUES DENTRO DE UN PERÍODO ANUAL

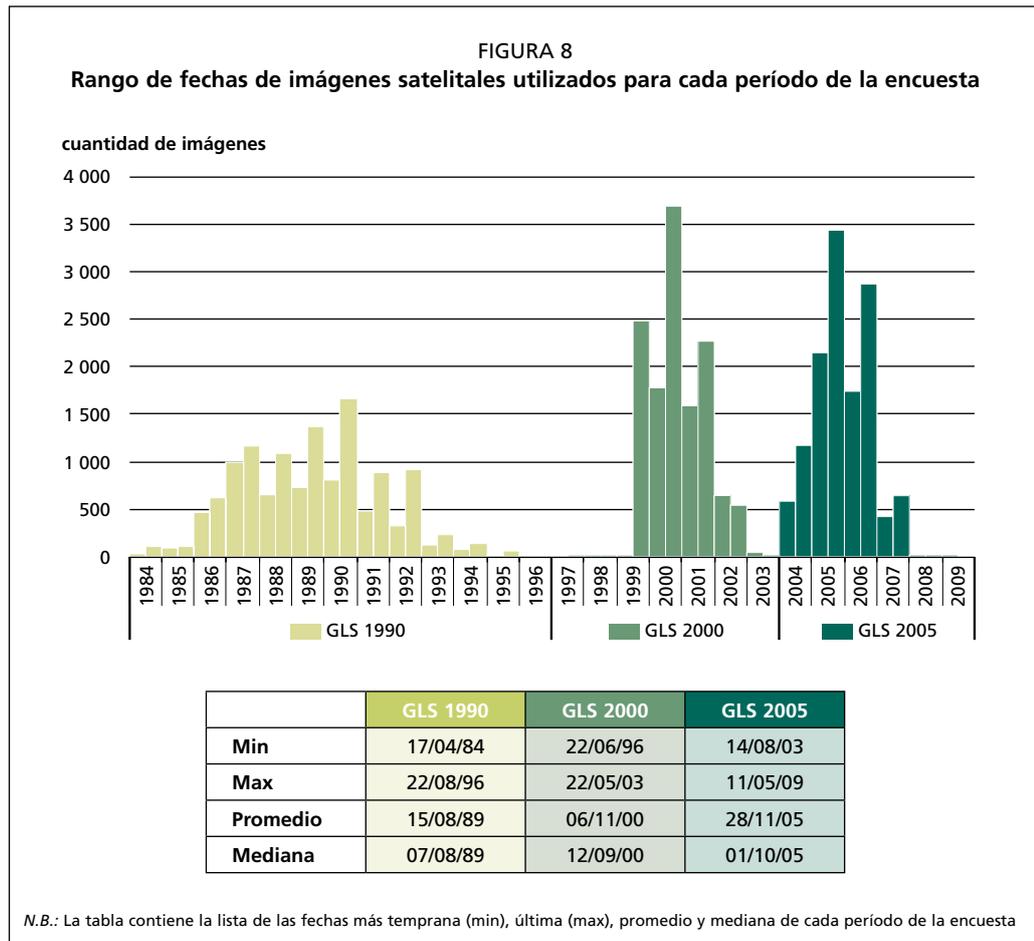
No obstante, las imágenes satelitales utilizadas en la encuesta representen nominalmente a los períodos 1990, 2000 y 2005, éstas fueron adquiridas a lo largo de una variedad de fechas alrededor del año meta (Figura 8). Los cambios fueron calculados como cambios anuales medios, tomando como base el rango de fechas que representaba la fecha de adquisición de la imagen en cada sitio (Anexo 4, ecuación 5).

TABLA 2

Superficie media de bosques ('000 ha ± intervalo de confianza) por región (a) y ámbito climático (b), 1990, 2000 y 2005

Región	n	Superficie de bosques ('000 ha)					
		1990		2000		2005	
África	2 322	520 000	± 7%	510 000	± 7%	490 000	± 8%
Asia	2 863	500 000	± 7%	510 000	± 7%	510 000	± 7%
Europa	907	1 080 000	± 5%	1 070 000	± 5%	1 070 000	± 5%
América Central y del Norte	4 833	790 000	± 3%	800 000	± 3%	800 000	± 3%
Oceanía	769	120 000	± 14%	120 000	± 14%	120 000	± 14%
América del Sur	1 372	860 000	± 5%	820 000	± 5%	800 000	± 5%
Mundial	13 066	3 860 000	± 2%	3 820 000	± 2%	3 790 000	± 2%
Ámbito climático	n	1990		2000		2005	
Boreal	3 092	1 180 000	± 3%	1 190 000	± 3%	1 200 000	± 3%
Subtropical	1 958	320 000	± 8%	330 000	± 8%	330 000	± 8%
Templado	3 831	560 000	± 5%	570 000	± 5%	570 000	± 5%
Tropical	4 185	1 730 000	± 4%	1 670 000	± 4%	1 620 000	± 4%

N.B.: n = cantidad de sitios de muestreo. La suma de las superficies de bosque de todas las regiones fue utilizada para representar la superficie total de bosques en el mundo.



ERROR

La precisión estadística de todas las estimaciones fue reportada como el valor del intervalo de confianza del 95 por ciento expresado como porcentaje de la media (Anexo 4, ecuaciones 6-8). Los errores reportados son sólo errores de muestreo y no incluyen errores de clasificación u otras fuentes de error.

4. Resultados y examen

La importancia de los incrementos y pérdidas de superficie bruta de bosques y cambios netos en la superficie de bosque, sopesados y enmarcados en un marco anual fue comprobada en cada región y ámbito climático utilizando distintos tipos de análisis:

- La prueba de Welsh (bilateral) para indicar si los incrementos, pérdidas y cambio neto son distintos a 0 (Tabla 3);
- Modelos lineales generales para calcular pendientes y la importancia de la pendiente e intersección (Tabla 4);

TABLA 3
Significancia de los cambios netos anuales y de los incrementos y pérdidas brutas para las regiones y ámbitos climáticos

	Cambio significativo, 1990–2000			Cambio significativo, 2000–2005		
	neto	incremento	perdida	neto	incremento	perdida
Ámbitos						
Boreal	*	*	*	*	*	*
Subtropical	*	*	*	*	*	*
Templado	*	*	*	*	*	*
Tropical	*	*	*	*	*	*
Región						
África	*	*	*	*	*	*
Asia	*	*	*	*	*	*
Europa		*	*		*	*
América Central y del Norte	*	*	*		*	*
Oceanía	*	*	*		*	*
América del Sur	*	*	*	*	*	*
Mundial	*	*	*	*	*	*

Note: * indicates a value significantly different from 0 ($p < 0.05$) using Welsh's t-test.

TABLA 4
P valores de pendiente de la recta formada por un modelo lineal general que pone en relación el cambio neto anual y los incrementos y pérdidas brutos con el período de la encuesta por región y ámbito climático

	Neto		incremento	Perdida
Ámbitos				
Boreal	0.167		0.000	0.001
Subtropical	0.895		0.178	0.009
Templado	0.018	↑	0.003	0.417
Tropical	0.000	↓	0.664	0.000
Región				
África	0.000	↓	0.787	0.000
Asia	0.515		0.014	0.122
Europa	0.133		0.646	0.030
América Central y del Norte	0.027	↑	0.000	0.339
Oceanía	0.595		0.438	0.780
América del Sur	0.001	↓	0.928	0.000
Mundial	0.001	↓	0.000	0.000

Las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los períodos de la encuesta están en verde. Para el cambio neto, la dirección de la flecha indica si hubo una pérdida neta de la superficie de bosque (↓) o si hubo un incremento (↑)

- Análisis de varianza (ANOVA) para detectar interacciones entre ámbito climático y año (Tabla 5);
- Análisis de máxima verosimilitud restringida (REML) como una herramienta más sólida para evaluar diferencias e interacciones infiriendo varianzas desiguales en las poblaciones de la muestra (Tabla 6).

LA SUPERFICIE DE USO DE TIERRAS FORESTALES DISMINUYÓ ENTRE 1990 Y 2005

La figura 9 muestra la superficie estimada de bosque por región en 1990, 2000 y 2005, y la figura 10 muestra la superficie estimada de bosque por ámbito climático para los mismos años. La superficie total de bosque en 2005 era de 3.8 billardos de ha, lo cual equivale aproximadamente al 30 por ciento de la superficie mundial de la tierra. Hubo una reducción neta en la superficie mundial de bosques entre 1990 y 2005 de 66.4 millones de ha, es decir el 1.7 por ciento.

INCREMENTOS Y PÉRDIDAS MUNDIALES DE BOSQUE

La reducción bruta del uso de tierras forestales en todo el mundo fue de 9.5 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y de 13.5 millones de ha por año entre 2000 y 2005. Esta reducción fue parcialmente neutralizada por incrementos en la superficie de bosques por medio de la forestación y expansión natural de los bosques de 6.8 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y 7.3 millones de ha por año entre 2000 y 2005. Por lo tanto, la tasa de pérdida neta anual de bosque aumentó considerablemente ($p < 0.05$) pasando de 2.7 millones de ha entre 1990 y 2000 a 6.3 millones de ha entre 2000 y 2005 (Tabla 7). Las figuras 11 y 12 muestran estos cambios por región geográfica y por ámbito climático.

DIFERENCIAS REGIONALES EN LA PÉRDIDA E INCREMENTO DE BOSQUES

En América del Sur, la conversión significativa de bosques a otros usos de la tierra se verificó en ambos períodos de la encuesta: 2.8 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y 4.3 millones de ha por año entre 2000 y 2005. En África, hubo pérdidas netas anuales estadísticamente significativas en la superficie de bosques de 1.1 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 2.7 millones de ha entre 2000 y 2005.

TABLA 5

Prueba de ANOVA para el cambio neto anual de la superficie del bosque, por ámbito climático y año

Fuente	SS tipo III	df	Medios cuadráticos	ratio F	p-value
Ámbitos climáticos	1.096	3	0.365	237.686	0.000
Año	0.053	1	0.053	34.678	0.000
Ámbitos climáticos x Año	0.164	3	0.055	35.499	0.000
Error	40.162	26 124	0.002		

TABLA 6

Los resultados de REML para el cambio neto anual por ámbito climático y período de encuesta (1990–2000 y 2000–2005)

Efecto	Nivel del efecto	Estimación	Error estándar	df	t	p-value
Ámbitos climáticos	Boreal	0.003	0.002	26123	1.083	0.279
	Subtropical	0.002	0.002	26123	0.962	0.336
	Templado	0.002	0.002	26123	0.81	0.418
	Tropical	-0.007	0.002	26123	-2.879	0.004
Año		0.000	0.000	26123	0.346	0.729
Ámbitos climáticos x Año	Año x Boreal	0.000	0.000	26123	7.217	0.000
	Año x Subtropical	0.000	0.000	26123	1.638	0.101
	Año x Templado	0.000	0.000	26123	1.667	0.095
	Año x Tropical	0.000	0.000	26123	-3.069	0.002

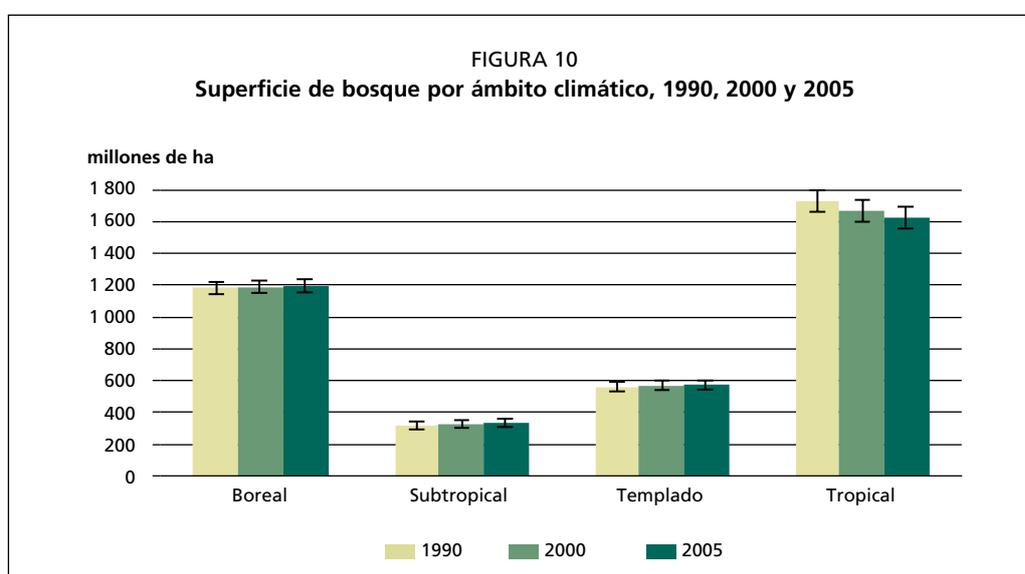
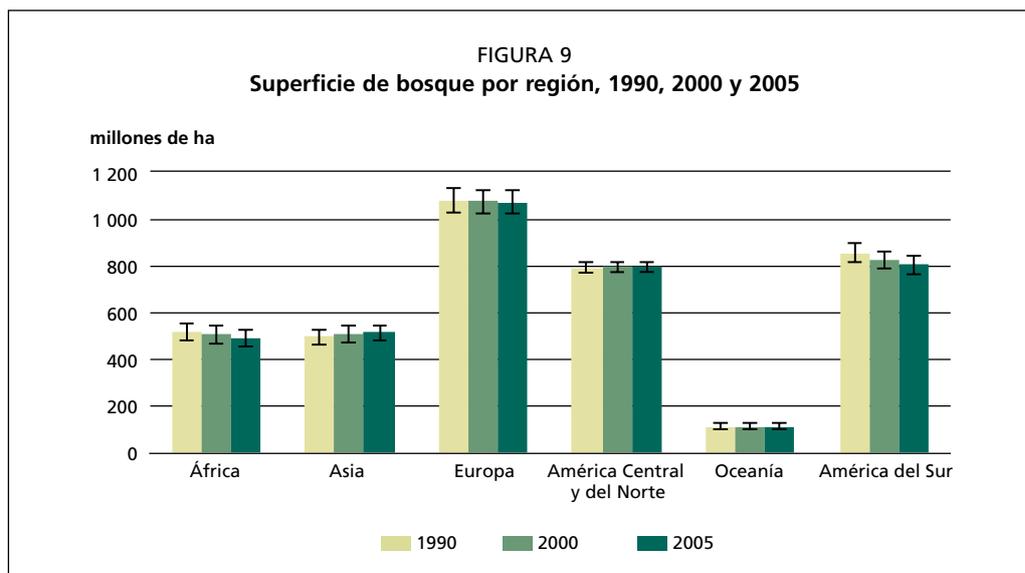


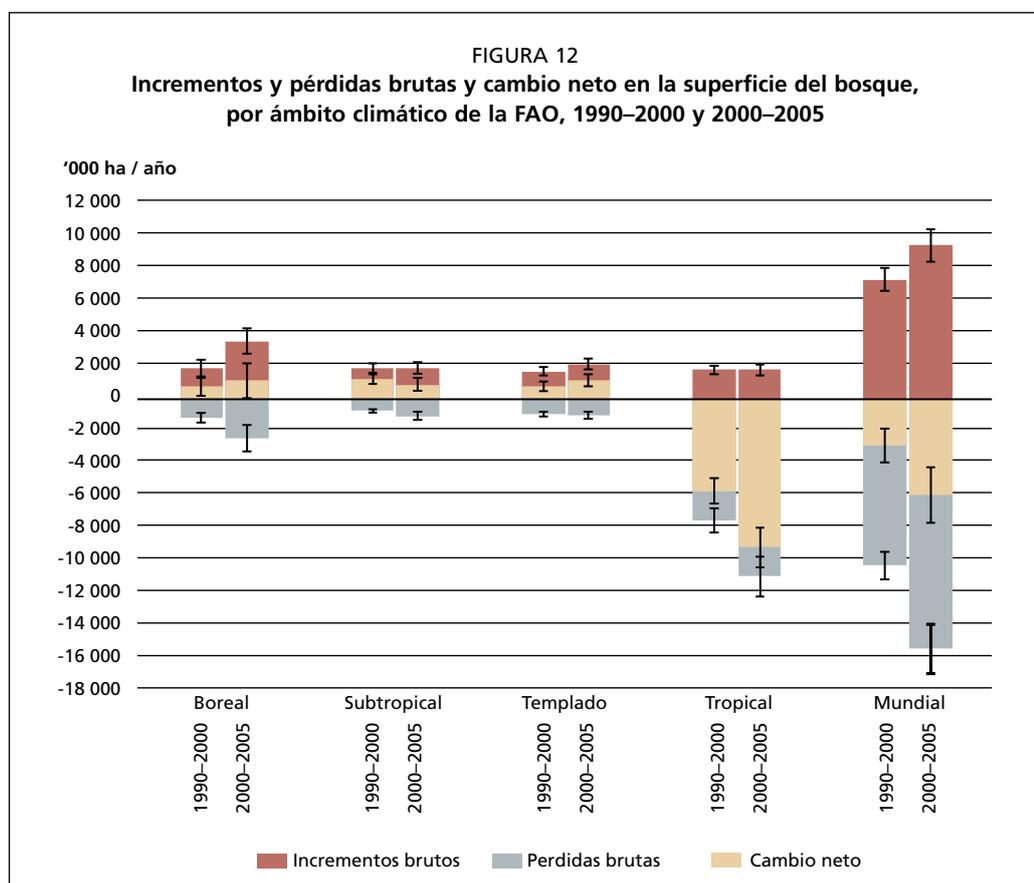
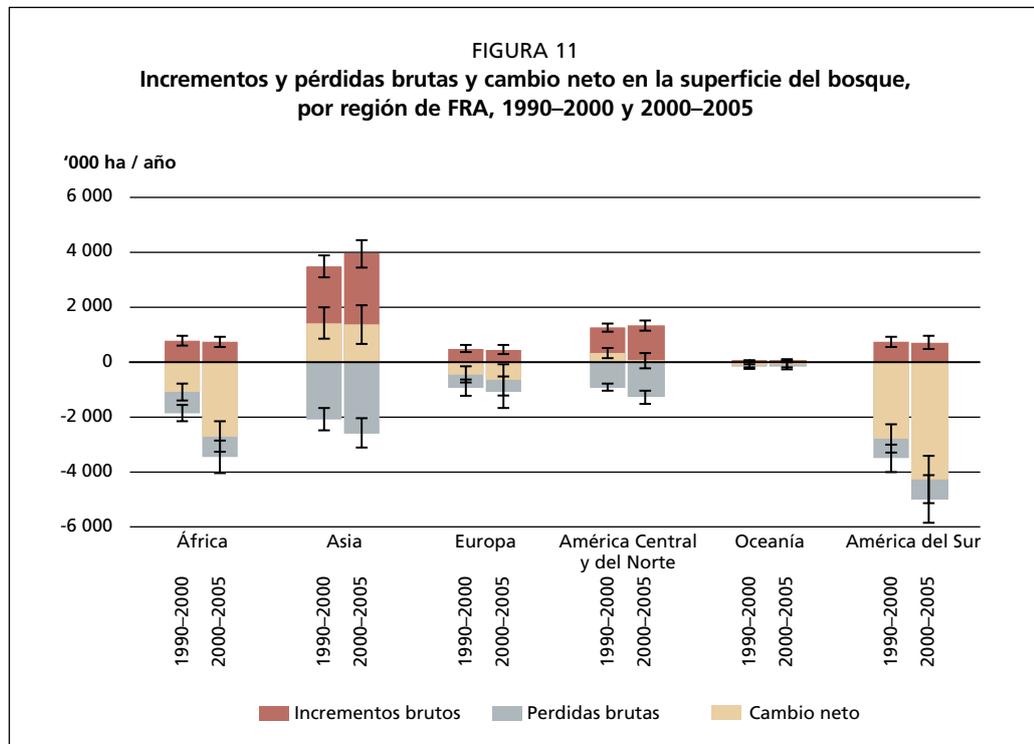
TABLA 7

Cambio neto medio anual de la superficie de bosque e intervalos de 95 por ciento de confianza entre los períodos de la encuesta para las regiones FRA y ámbitos climáticos de la FAO

	Cambio medio ('000 ha)		intervalo de confianza del 95% ('000 ha)		intervalo de confianza (%)	
	1990-2000	2000-2005	1990-2000	2000-2005	1990-2000	2000-2005
Región						
África	-1 091	-2 712	306	560	28	21
Asia	1 419	1 367	564	703	40	51
Europa	-437	-638	303	578	69	91
América Central y del Norte	323	55	190	287	59	522
Oceanía	-101	-61	87	136	86	224
América del Sur	-2 779	-4 275	516	863	19	20
Total	-2 666	-6 264	902	1 410	34	23
Ámbitos						
Boreal	776	1 153	565	1 088	73	94
Subtropical	1 212	902	295	380	24	42
Templado	787	1 152	288	364	37	32
Tropical	-5 648	-9 111	775	1 238	14	14
Total	-2 873	-5 904	1 044	1 730	36	29

M.B.: el cambio neto mundial fue calculado al sumar las estimaciones de todas las regiones FRA.

Europa, incluyendo la Federación Rusa, tuvo una pérdida anual neta de superficie de bosque estadísticamente significativa de 0.4 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 0.6 millones de ha entre 2000 y 2005. Oceanía tuvo pérdidas netas anuales significativas de bosque de 0.1 millones de ha entre 1990 y 2000 y no tuvo cambios significativos



en la superficie de bosque entre 2000 y 2005. Hubo un incremento anual neto medio significativo en América del Norte entre 1990 y 2000 de 0.3 millones de ha, pero no se verificó ningún cambio neto significativo entre 2000 y 2005. En Asia, hubo incrementos netos anuales medios estadísticamente significativos en la superficie del bosque, siendo éstos de 1.4 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 1.4 millones de ha entre 2000 y 2005.

La pérdida neta de bosques fue mayor en el ámbito climático tropical durante ambos períodos: 5.6 millones de ha por año entre 1990 y 2000 y 9.1 millones de ha por año entre 2000 y 2005.

Hubo incrementos netos anuales significativos en la superficie de bosque en el ámbito climático templado de 0.8 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 1.2 millones de ha entre 2000 y 2005.

En el ámbito climático boreal hubo incrementos anuales netos significativos en la superficie de bosques de 0.8 millones de ha entre 1990 y 2000 y de 1.2 millones de ha entre 2000 y 2005. El alto coeficiente de variación de estas estimaciones, sin embargo, señala que existe una vasta gama de estimaciones de cambio en la superficie de bosque, lo cual podría deberse a problemas en la clasificación del uso de la tierra y de la cubierta de la tierra en esta zona.

El ámbito climático subtropical mostró un incremento neto anual en la superficie del bosque de 1.2 millones de ha entre 1990 y 2000 y 0.9 millones de ha entre 2000 y 2005.

DIFERENCIAS EN LA TASA ANUAL DE CAMBIO POR REGIÓN Y POR ÁMBITO CLIMÁTICO

Hubo una interacción significativa entre el ámbito climático y el año (Tabla 5), lo cual significó que las diferencias entre los períodos de la encuesta no fueron los mismos en todos los tipos de ámbito climático. Estas diferencias en la tasa de cambio neto del bosque entre los distintos períodos de tiempo fueron significativas en los ámbitos climáticos boreal y tropical y no tuvieron significancia en los ámbitos templado y subtropical (Tabla 6). El único ámbito climático que mostró una pérdida neta fue el del trópico, en donde el cambio neto anual pasó de una pérdida de 5.6 millones de ha en 1990–2000 a una pérdida de 9.1 millones de ha en 2000–2005.

El análisis REML de la tabla 6 permite establecer una correlación espacial y temporal y una varianza desigual entre las poblaciones y puede ser más sólido que ANOVA en cuanto al análisis de los datos de la encuesta. El análisis REML es utilizado para reducir las probabilidades de cometer errores de tipo 1 a la hora de determinar la importancia estadística de algunos resultados (Picquelle and Mier, 2011).

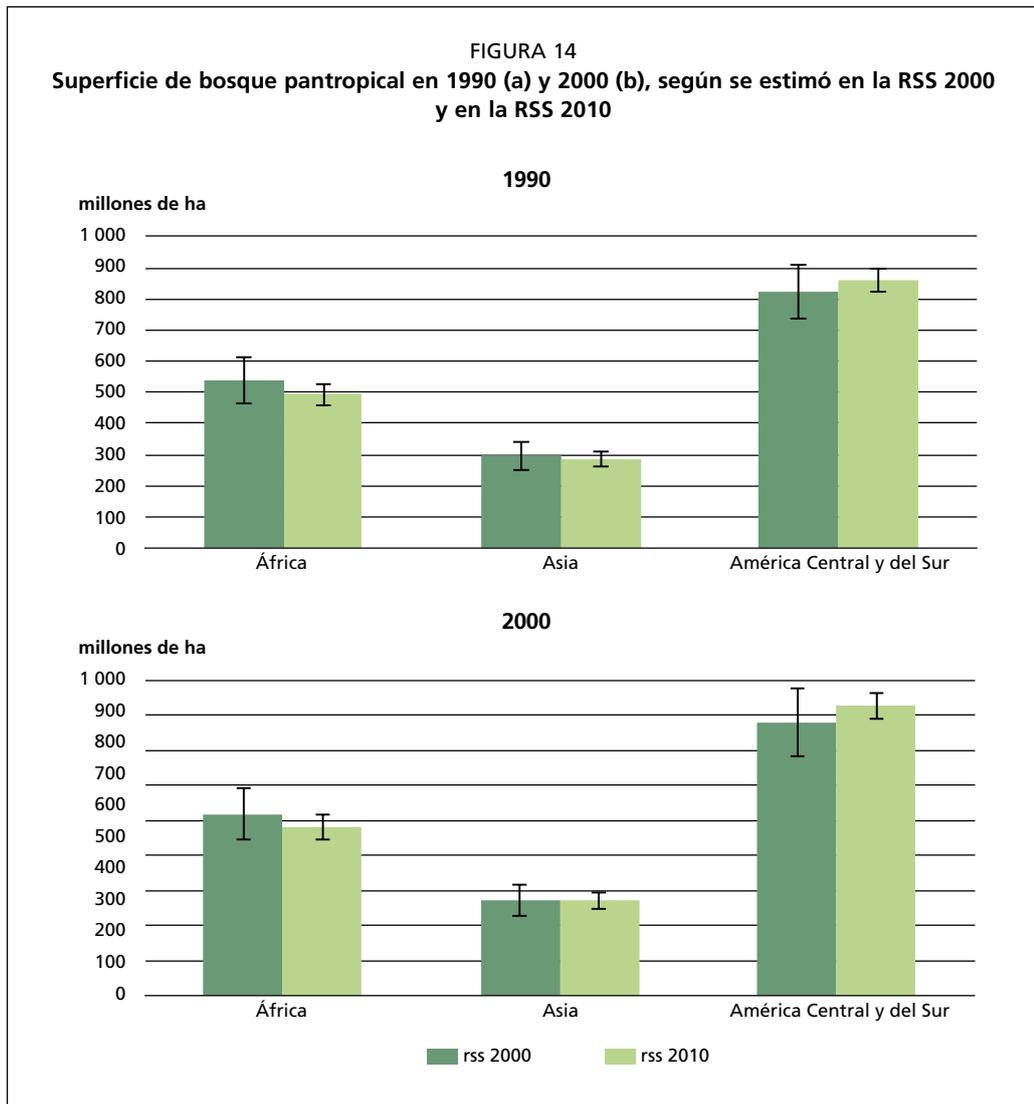
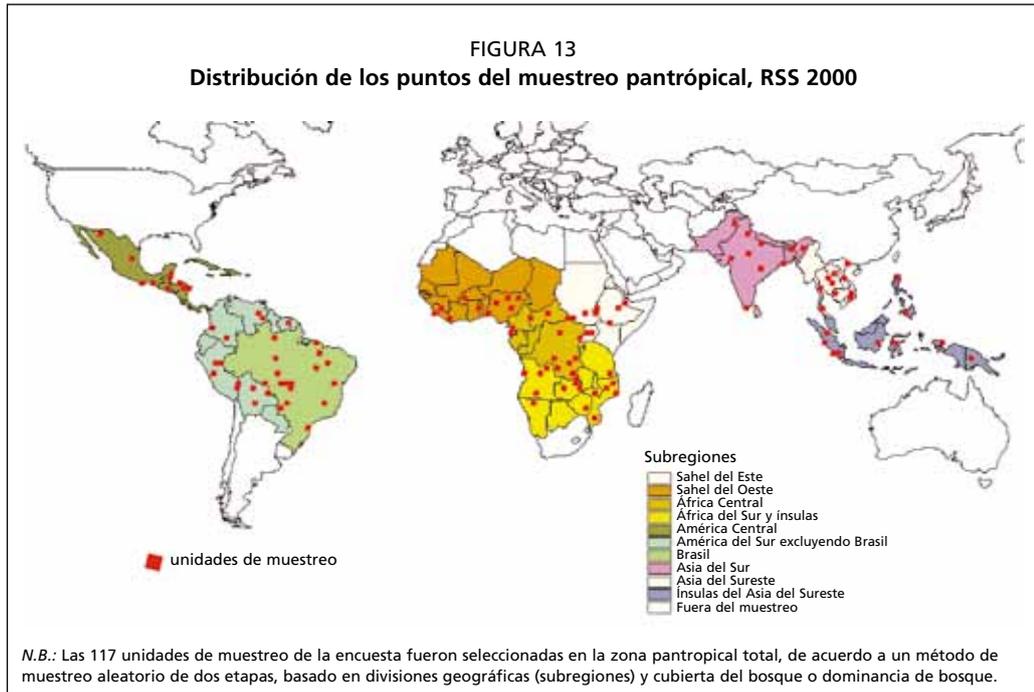
En décadas recientes, el trópico ha sido considerado como la fuente mayor de pérdida neta de bosque. Este estudio confirma esta tendencia y el hecho de que la mayoría de las pérdidas se verificaron en América del Sur y en África (Tabla 7).

COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS DE LA FAO

La siguiente sección establece una comparación entre las estimaciones de la superficie de bosque y el cambio en la superficie de bosque efectuadas en este proyecto con aquellos producidos por encuestas pantropicales de teledetección realizadas anteriormente por la FAO y con aquellos presentados en los informes tabulares de FRA 2010 (utilizando datos proporcionados por los países).

Comparación con la encuesta de teledetección pantropical de FRA 2000

La FAO (2001) condujo una encuesta de teledetección de la superficie del bosque en el trópico para los años 1990 y 2000; a partir de entonces, a dicha encuesta se le denomina Encuesta de teledetección 2000 (RSS 2000). Los datos de la encuesta de teledetección de 2010 fueron agregados utilizando los mismos límites geográficos utilizados por la RSS 2000 (Figura 13) y las estimaciones de la superficie de bosque, de pérdida bruta de superficie de bosque y de cambio en la superficie de bosque para los años 1990 y 2000 fueron objeto de comparación (Figura 14).



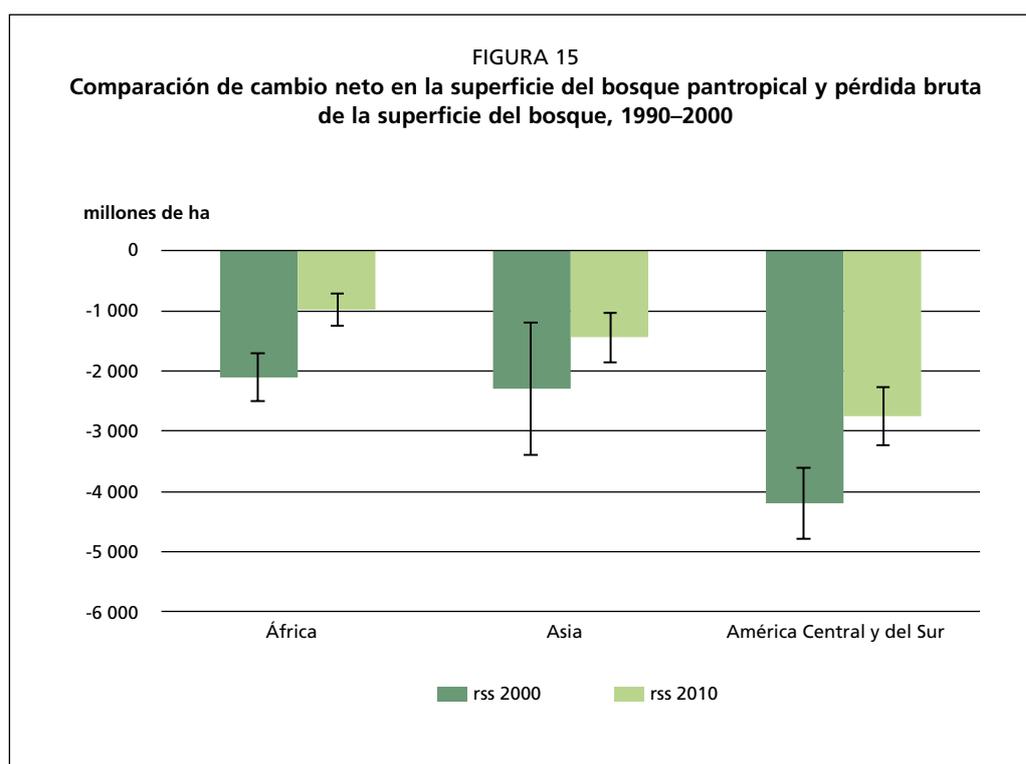
Las estimaciones de la superficie total de bosques y de la pérdida bruta de superficie de bosque para el período 1990–2000 no tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las dos encuestas. La diferencia en estimaciones de cambio neto de la superficie de bosque entre las dos encuestas no resultaron ser significativamente diferentes en Asia, América del Sur y América Central, pero sí fue significativamente distinta ($p < 0.05$) en África (Figura 15). La RSS 2000 se concentró en zonas de cubierta del bosque y no incluyó muestras de zonas carentes de bosque, lo cual podría explicar por qué las estimaciones de la pérdida neta de bosque eran más altas por lo general en la RSS 2000 respecto a la encuesta RSS 2010.

La RSS 2000 consistió en 117 escenas completas de Landsat (que representaban una superficie de muestreo total de 250 millones de ha) y, en el área que coincide con ambas encuestas, la RSS 2010 consistió en 3 631 sitios de muestreo (que representaban una superficie total de muestreo de 36 millones de ha). La mayor parte de las muestras de la encuesta RSS 2010 aumentaron la precisión de sus estimaciones en comparación con aquellas realizadas en RSS 2000.

La figura 16 muestra una serie temporal completa de las estimaciones de superficie de bosque tropical, por región, en 1980, 1990, 2000 y 2005 provenientes de las encuestas de teledetección de FRA. Las estimaciones de 1980 provenían de la encuesta RSS 2000 y las estimaciones de 1990, 2000 y 2005 provenían de RSS 2010.

Comparación con los informes tabulados de FRA 2010

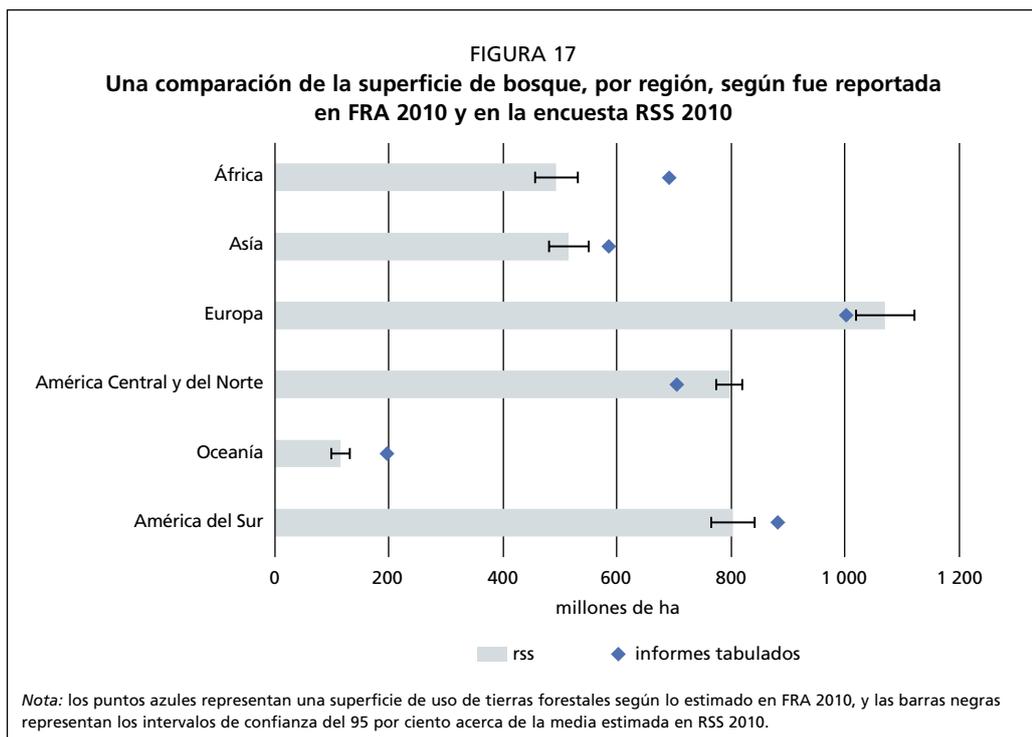
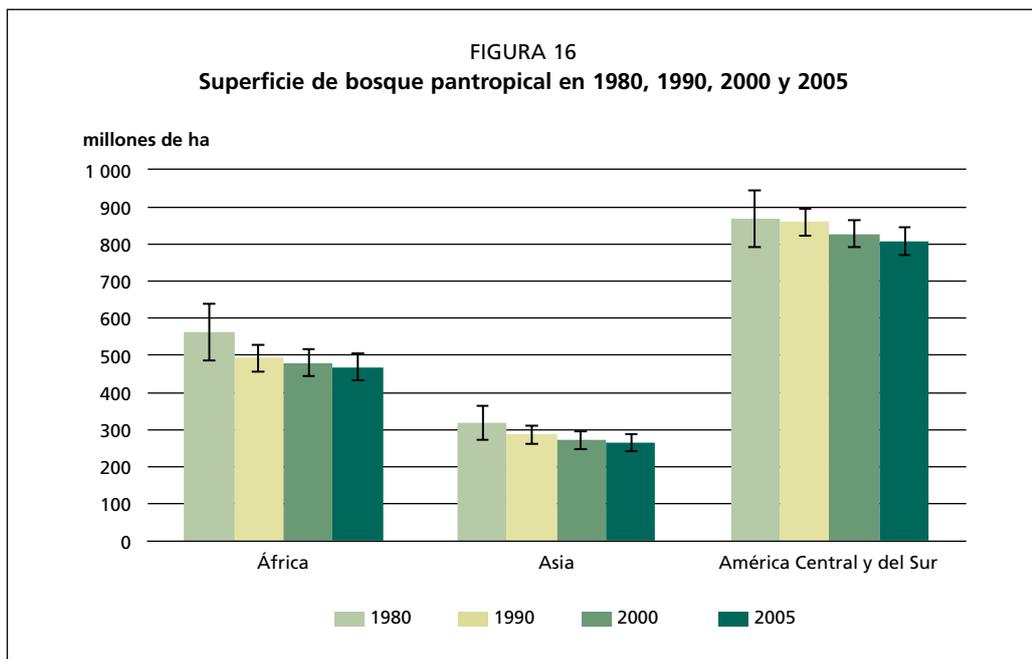
Las estimaciones de la superficie de bosque y de las tasas de cambio en la encuesta RSS 2010 difieren de aquellas presentadas en las tablas de FRA 2010, tanto para la superficie de bosque, como para el cambio anual en la superficie de bosque. Las diferencias entre “situación” (por ej. Superficie de bosque) y “tendencia” (por ej. Cambio en la superficie de bosque) del uso de las tierras forestales son complejas. En la siguiente sección, se examinan las diferencias entre la encuesta RSS 2010 y los informes tabulados de FRA 2010 (de ahora en adelante denominados FRA 2010) en lo que respecta a varios criterios claves, incluyendo la definición de bosque, los métodos de elaboración de informes de ambas encuestas, y la calidad en general de la información aportada.



Diferencias en la superficie del bosque

Las estimaciones de la superficie de bosque en África en 2000 era casi de 200 millones de ha (29 por ciento) superior en FRA 2010 respecto a la encuesta RSS 2010 (Figura 17). En una base porcentual, la principal diferencia se encontró en Oceanía, en donde la superficie de bosque estimada en 2000 era de 41 por ciento (81 millones de ha) superior en FRA 2010. Diferencias similares en la superficie de bosque se observaron en las estimaciones de 1990 y 2005.

Las diferencias en las estimaciones de la superficie forestal entre este estudio y el de FRA 2010 se deben probablemente a las diferencias de los métodos de encuesta y de elaboración de informes utilizados y a un aspecto relativo a la teledetección debido a la definición de bosque. Los métodos utilizados para establecer estimaciones en FRA

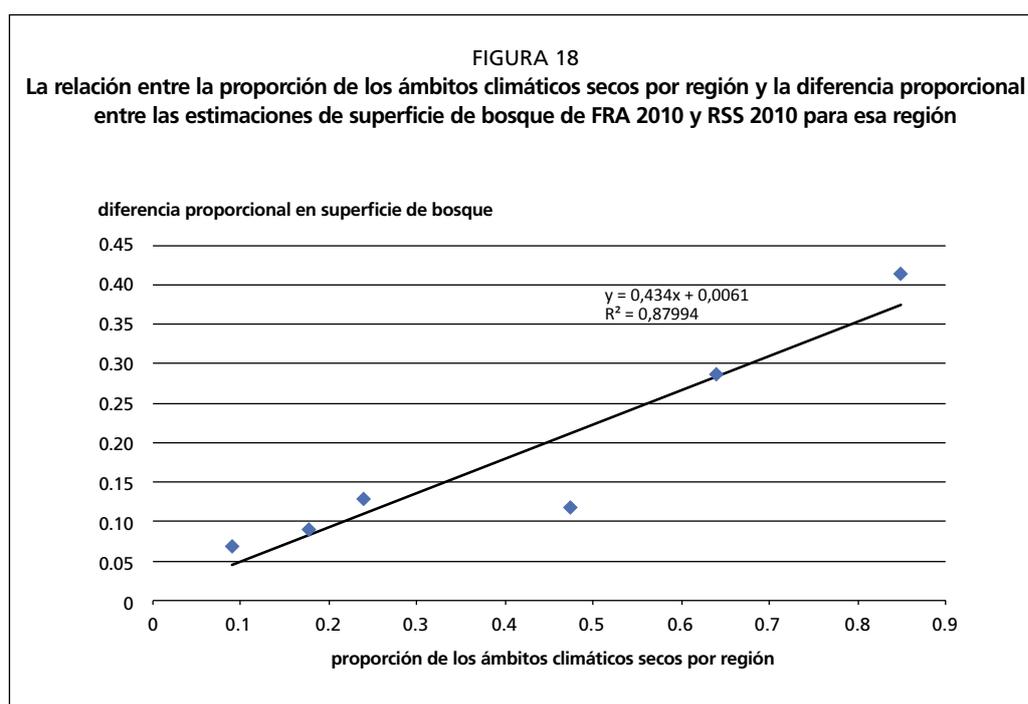


2010 varían de país a país e incluyen el uso de inventarios forestales nacionales, estudios de teledetección y opiniones de expertos. Los cuestionarios nacionales de FRA 2010 tenían un formato estándar con el fin de mejorar la coherencia entre los países, pero las diferencias entre los estándares de elaboración de informes de los países condujeron a la generación de incoherencias en el análisis, tanto de la situación, como de la tendencia de la superficie de bosques. Por ejemplo, algunos países no presentaron los cuestionarios completos de FRA durante FRA 2010. En dichos países, la situación de la superficie de bosques y la tendencia se produjeron a partir de fuentes de datos auxiliares o de cifras reportadas con anterioridad (FAO, 2001). Dependiendo de la frecuencia y estándar de la elaboración del informe, se incurre en el riesgo de que las estimaciones sean obsoletas y de precisión desconocida (Matthews, 2001).

Actualmente África cuenta con los datos más antiguos, en un cálculo basado en la superficie, de todas las regiones de FRA (Ö. Jonsson, comunicación personal, 2012). El uso de información desactualizada, que requería de extrapolación, a veces en el curso de varias décadas, con el fin de producir estimaciones para FRA 2010 contribuye a la variación observada entre estimaciones de superficie de bosques en los dos estudios.

La definición de bosque utilizada tanto en FRA 2010, como en RSS 2010 se caracteriza por un umbral bajo para la cubierta de copas (es decir, > 10 por ciento), lo cual es difícil de detectar utilizando imágenes satelitales de resolución espacial media, así como es difícil delinear con precisión el campo centrándose exclusivamente en el nivel de parcela. La superficie de bosque con cubierta de copas de menos del 20 por ciento no puede ser detectada con precisión en una imagen satelital de resolución media tal como Landsat. Se está trabajando para determinar los umbrales del porcentaje de cubierta de copas clasificados como bosques en RSS 2010 por medio de la incorporación de imágenes de alta resolución espacial en lugares seleccionados. Una caracterización más coherente de sitios con bajo porcentaje de cubierta de copas podría reducir algunas diferencias entre las dos metodologías.

Con el fin de comprobar la teoría que señala que la dificultad de delinear el bosque de cubierta de copas baja (por lo general en zonas más secas de bosque) contribuye a las diferencias de estimaciones de superficie de bosques entre FRA 2010 y RSS 2010, la proporción de una zona ecológica seca por región estaba relacionada con la diferencia absoluta en las estimaciones de superficie del bosques. La figura 18 muestra un alto

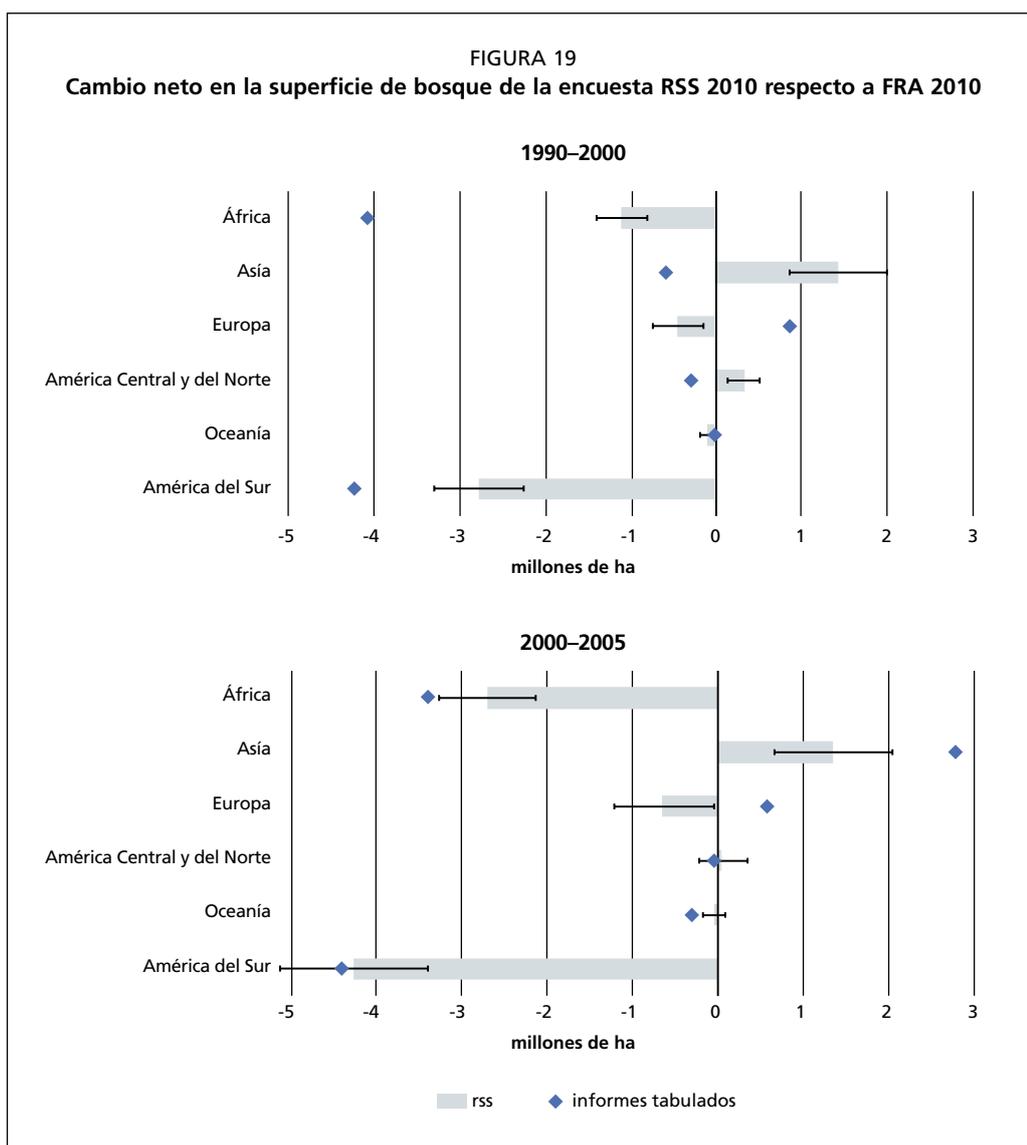


grado de correlación entre la superficie de tierras secas y las diferencias de estimación de superficie del bosque entre FRA 2010 y RSS 2010; la falta de certeza en las estimaciones de la superficie de bosque en tierras secas, por lo tanto, puede contribuir a las diferencias en las estimaciones de la superficie de bosque.

Diferencias en el cambio neto de superficie de bosques

Las estimaciones del cambio neto en la superficie de bosques en RSS 2010 también difieren de aquellas reportadas en FRA 2010. El cambio neto total era inferior en este estudio (66.4 millones de ha) respecto a FRA 2010 (107.4 millones de ha). La magnitud de la tasa anual de cambio también fue diferente. Los resultados de RSS 2010 señalan que la tasa anual de pérdida neta de superficie de bosque creció de cerca de 3 millones de ha en el período 1990–2000 a 6 millones de ha en el período 2000–2005. FRA 2010, por otro lado, señala una disminución de la tasa de pérdida neta anual de bosque de 8.3 millones de ha en 1990–2000 a 4.8 millones de ha en 2000–2005.

Las diferencias en las estimaciones netas de cambio entre las dos encuestas se deben principalmente a la incertidumbre relativa a la superficie de bosques y el cambio en África, Asia y América del Sur (Figura 19). En el período 1990–2005, la encuesta RSS 2010 estimó una disminución neta inferior en la superficie de bosque en África y América del Sur, así como un incremento neto superior en la superficie del bosque en



Asia con respecto a FRA 2010. La encuesta RSS 2010 indicó un incremento neto en la superficie de bosque en Asia en ambos períodos, mientras que FRA 2010 estimó una disminución neta en la superficie del bosque entre 1990 y 2000 y un incremento neto entre 2000 y 2005.

Debería ser tomado en consideración que FRA 2010 no informó de manera específica acerca de la pérdida de bosque como una variable individual y distinta; más bien, las estimaciones de cambio en los bosques provenían de la diferencia que existe entre estimaciones de la superficie de bosque en el curso del tiempo. Por lo tanto, los errores en los informes sobre la superficie de bosque pueden ser compuestos, o deberse a una confusión de estimaciones acerca del cambio en la superficie del bosque.

CAUSAS DEL CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA

El tipo de causa al cual se debe el cambio de uso de la tierra no fue evaluado en este estudio, según se había planificado originalmente. La atribución de tipos de uso de la tierra por parte de los expertos nacionales a clases más detalladas demostró ser difícil en el tiempo asignado durante los talleres de examen y revisión. Por lo tanto, mientras la conversión del uso de tierras forestales a otros usos de la tierra y viceversa, pueden ser analizados fácilmente, los resultados de la encuesta RSS 2010 no indican si las pérdidas de bosque pueden ser atribuidas a usos específicos (por ej. tierras de pastoreo o tierras agrícolas). De manera similar, los incrementos en la superficie del bosque pueden deberse a la expansión natural de bosque o al establecimiento de plantaciones.

La literatura científica existente puede ser utilizada para ganar mayor conocimiento acerca de las causas de la conversión de uso de las tierras forestales. Los resultados de la encuesta reafirmaron que las zonas tropicales dan cuenta de la porción más grande de pérdida neta total de bosque. Gibbs *et al.* (2010) volvieron a analizar los datos de la encuesta RSS 2000 y estimaron que el incremento total neto en la superficie agrícola entre 1980 y 2000 en el trópico fue superior a 100 millones de ha, casi el 80 por ciento de lo que provenía de uso de tierras forestales intactas con anterioridad. En vista del incremento sostenido de la demanda de productos agrícolas para la alimentación y la energía, es probable que las causas de la conversión de bosques a otros usos en el período 2000–2005 en el trópico sea también predominantemente debido a la expansión de la agricultura (Lambin y Meyfroidt, 2011).

Los resultados de la RSS 2010 indican que la superficie de bosque incrementó en el ámbito climático templado, probablemente debido a incrementos en la plantación de bosques en Asia templada. Liu y Tian (2010) documentan un gran incremento (51.8 millones de ha) en la superficie de bosques en China debido al establecimiento de plantaciones, un proceso que inició en la década de 1950 y que continúa hasta la fecha. FRA 2010 confirma parcialmente este hallazgo en China, informando acerca de un incremento en la superficie del bosque de cerca de 2.5 millones de ha anualmente – de un total de 49.7 millones de ha – entre 1990 y 2010.

Los resultados de la RSS 2010 también muestran un incremento en la superficie de bosque en el ámbito climático boreal, aunque este incremento es sorpresivo y aún más difícil de explicar. El incremento puede deberse a la repoblación del bosque en grandes superficies de tierras agrícolas abandonadas desde el colapso de la Unión Soviética. Kuemmerle *et al.* (2010) estiman la tasa de expansión natural de bosque en tierras agrícolas abandonadas en Ucrania desde 2000 a 8 600 ha por año. Tasas similares de expansión natural de bosque pueden estar ocurriendo en los casi 26 millones de ha de tierras agrícolas abandonadas en la Federación Rusa, Belarús y Kazajistán (Lambin y Meyfroidt, 2011).

Otra explicación posible respecto al incremento de superficie de bosque detectado en el ámbito climático boreal podría ser la identificación errada de zonas quemadas como uso de la tierra no forestal en períodos de tiempo anteriores. En Canadá, un examen y revisión de las clasificaciones de uso de la tierra, efectuados de manera

principalmente automatizada, se llevaron a cabo utilizando la enorme Base Nacional de Datos de Incendios de Canadá (Stocks *et al.*, 2002) con el fin de identificar las superficies incendiadas y volver a clasificar la otra cubierta de la tierra en uso de tierra forestal en los casos en que se consideró que los incendios eran la causa de la pérdida de bosque. La Base Nacional de Datos de incendios de Canadá incluye los incendios superiores a 200 ha de extensión y representa cerca del 97 por ciento de la superficie total incendiada anualmente en Canadá (Stocks *et al.*, 2002). La asignación errada de etiquetas de incendios pequeños como uso no forestal de la tierra u otras discrepancias entre la detección de la cubierta de la tierra de la encuesta RSS 2010 y la Base Nacional de Datos de incendios de Canadá pudo haber contribuido a crear un incremento artificial en la superficie de uso de tierras forestales como regeneración de superficie incendiada.

EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN

Este estudio no contempló la realización de una evaluación formal sobre la precisión de la clasificación del uso de la tierra. Es difícil encontrar fuentes de datos de resolución espacial más alta, de resolución temporal apropiada o de mayor confiabilidad, especialmente a nivel mundial, con respecto a la cual se puedan verificar las etiquetas de uso de la tierra clasificadas automáticamente y revisadas por los expertos. Una comparación de las etiquetas de la cubierta de la tierra clasificadas automáticamente antes y después del examen y revisión de expertos indicó que existe una concordancia general del 77–81 por ciento (Lindquist *et al.*, datos presentados). Las comparaciones de las clasificaciones de cubierta de la tierra revisadas por expertos que contaban con imágenes satelitales de alta resolución espacial fueron seleccionadas en la Federación Rusa e indicaron que la revisión de expertos podía aportar el 100 por ciento de precisión al esquema de clasificación dicotómico bosque/otras tierras (Bartolev, 2012 datos no publicados).

Se espera que la cubierta de la tierra reflejará el uso subyacente que se hace de la tierra en la mayoría de los casos; por lo tanto la precisión alcanzada por los métodos utilizados, debería proporcionar una indicación de las estimaciones de precisión en general. Sin embargo, las excepciones a la generalización de equivalencia cubierta de la tierra/uso de la tierra son importantes y significativas. En el futuro, se harán mayores esfuerzos para establecer un método para evaluar de manera más completa la precisión de la clasificación de uso de la tierra.

5. Conclusiones

Esta es la primera encuesta de su especie, en haber medido de manera sistemática, las pérdidas e incrementos en el uso de las tierras forestales entre 1990 y 2005, tomando en cuenta niveles de agregación de índole mundial, regional, de ámbito climático y de zona ecológica. Los resultados presentados en este informe señalan que la conversión de bosques a otros usos de la tierra prevalece en el ámbito climático del trópico y, dentro de éste, en América del Sur. Otros ámbitos climáticos se mantuvieron notablemente estables en términos de cambio neto de uso de las tierras forestales durante el período 1990–2005.

El diseño sistemático de la encuesta permitió hacer estimaciones de incrementos y pérdidas brutas de la superficie de bosques, así como de los cambios netos en la superficie de los bosques, cada una de las cuales con una estimación de precisión. El proceso de examen y revisión exhaustiva por parte de expertos nacionales en bosques y en teledetección, permitió efectuar la corrección de errores de clasificación y de identificación de usos de la tierra que no eran identificables únicamente mediante fuentes de datos de teledetección, y proporcionó un contexto ecológico mejorado para el monitoreo de la cubierta de bosques y de los cambios en el uso de las tierras forestales a nivel mundial.

INTEGRACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES DE BAJA RESOLUCIÓN PARA CONTRIBUIR CON LA CLASIFICACIÓN

La encuesta se benefició al utilizar conjuntos de datos mundiales de baja resolución espacial, tanto para normalizar, como para clasificar las muestras de Landsat de resolución espacial más alta. Aunque las imágenes satelitales de baja resolución a menudo no son apropiadas como fuente única de información para detectar el cambio, varios estudios han demostrado la eficacia que conlleva el uso de dichos datos para seleccionar datos de entrenamiento para clasificaciones de cubierta de la tierra en resoluciones espaciales más altas. Por ejemplo, Hansen *et al.* (2008) demostraron que es útil servirse de datos de resolución especial baja de MODIS VCF para delinear sitios de entrenamiento potenciales para una clasificación bosque/no bosque en África Central. Métodos similares también fueron aplicados con éxito en la región formalmente delimitada como Amazonía en Brasil (Broich *et al.*, 2009), Indonesia (Broich *et al.*, 2011), y en la región boreal de la Federación Rusa (Potapov *et al.*, 2008; Potapov, Turubanova y Hansen, 2011).

IMPORTANCIA DEL EXAMEN Y REVISIÓN VISUALES DE LA CLASIFICACIÓN

El control y la corrección visuales fueron una parte importante de los procesos de clasificación de uso de la tierra y de cubierta de la tierra y tuvieron un gran impacto en los resultados finales. Una comparación de los resultados iniciales de la clasificación automatizada de la cubierta de la tierra y de los resultados finales del examen y la revisión de la zona del trópico indicó que cerca del 20 por ciento de las etiquetas de los polígonos fueron revisadas por expertos nacionales (Raši *et al.*, 2011). Resultados similares se obtuvieron para los sitios en los ámbitos boreal, templado y subtropical (Lindquist *et al.*, presentado). El proceso de afinamiento visual también tuvo un efecto notable en las estimaciones de la superficie de bosques y de cambio en la superficie de bosques: en Asia del Sudeste, por ejemplo, la tasa neta de cambio en la cubierta de árboles (pérdida) de 1990–2000 fue evaluada en 0.9 por ciento antes, y en 1.6 por ciento después del control visual (Raši *et al.*, 2011).

LA UTILIDAD DE LANDSAT PARA EL MONITOREO MUNDIAL

Los métodos de detección de cambios y de clasificación de la cubierta de la tierra que apuntalan los datos disponibles, a través de la generación actual de sensores de Landsat, es crítica para mantener un registro de los cambios de la cubierta de la tierra hasta que se establezca la nueva generación de sensores. El programa de Landsat tiene la serie continua más larga de observaciones terrestres similares por teledetección y constituye un componente crítico del análisis en el cambio de la cubierta de la tierra y en el uso de la tierra desde 1970. Landsat 7, el sensor más reciente, fue lanzado en 1999 pero sufrió un fallo mecánico en mayo de 2003 que provocó brechas sin datos en la línea de trayectoria transversal del escáner abarcando el 23 por ciento de cada imagen (Williams, Goward and Arvidson, 2006). Los métodos de muestreo, tales como los descritos en este informe, constituyen un uso apropiado de las adquisiciones de imágenes Landsat disponibles actualmente y deberían ser utilizados para fortalecer las grandes cantidades de información que se encuentran disponibles sin ningún costo en el archivo de Landsat (Woodcock *et al.*, 2008).

ESTABLECIMIENTO DE REDES MUNDIALES

El proyecto estableció dos redes mundiales muy importantes. Una fue la cuadrícula de encuesta mundial, que será actualizada con datos de 2010 como parte del próximo FRA (a ser realizado en 2015). La segunda y tal vez la más importante red comprende los principales expertos nacionales que participaron en la encuesta y que siguen siendo fuentes de conocimiento sobre el uso de la tierra y la teledetección forestal, y constituyen puntos de contacto importantes en distintos países miembros de la FAO.

Bibliografía

- Arino, O., Blicheron, P., Achard, F., Latham, J., Witt, R. & Weber, J.L. 2008. The most detailed portrait of Earth. *ESA Bulletin* (European Space Agency), 136: 24–31.
- Asner, G. P. 2001. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. *Environmental Studies*, 22(18), 3855–3862. DOI:10.1080/01431160010006926.
- Avissar, R. & Werth, D. 2005. Global hydroclimatological teleconnections resulting from tropical deforestation. *J. Hydrometeorology*, 6(2): 134–145. DOI: 10.1175/JHM406.1.
- Baatz, M. & Schape, A. 2000. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In J. Strobl, T. Blaschke & G. Griesebner, eds. *Angewandte geographische informations-verarbeitung XII*. Karlsruhe, Germany, Wichmann Verlag, pp. 12– 23.
- Bartolev, S. 2012. Unpublished data on accuracy of FRA RSS land cover classification compared to high spatial resolution satellite imagery.
- Beuchle, R., Eva, H.D., Stibig, H.-J., Bodart, C., Brink, A., Mayaux, P., Johansson, D., Achard, F. & Belward, A. 2011. A satellite data set for tropical forest change assessment, *Int. J. Remote Sens.* DOI: 10.1080/01431161.2011.611186.
- Bodart, C., Eva, H.D., Beuchle, R., Raši, R., Simonetti, D., Stibig, H.-J., Brink, A., Lindquist, E. & Achard, F. 2011. Pre-processing of a sample of multi-scene and multi-date Landsat imagery used to monitor forest cover changes over the tropics. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.* 66: 555–563.
- Broich, M., Hansen, M.C., Potapov, P., Adusei, B., Lindquist, E. & Stehman, S.V. 2011. Time-series analysis of multi-resolution optical imagery for quantifying forest cover loss in Sumatra and Kalimantan, Indonesia. *Int. J. Appl. Earth Obs. and Geoinformation*, 13(2): 277–291. DOI: 10.1016/j.jag.2010.11.004.
- Broich, M., Stehman, S.V., Hansen, M.C., Potapov, P. & Shimabukuro, Y.E. 2009. A comparison of sampling designs for estimating deforestation from Landsat imagery: a case study of the Brazilian Legal Amazon. *Remote Sens. Environment*, 113(11): 2448–2454. DOI: 10.1016/j.rse.2009.07.011.
- Carroll, M.L., Townshend, J.R., DiMiceli, C.M., Noojipady, P. & Sohlberg, R. 2009. A new global raster water mask at 250 m resolution. *Int. J. Digital Earth*, 2(4): 291–308. DOI: 10.1080/17538940902951401.
- Czaplewski, R. 2002. *FRA 2000: On sampling for estimating global tropical deforestation*. Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 60, Rome, FAO.
- Desclée, B., Bogaert, P., Defourny, P. 2006. Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sens. Environment*, 102: 1–11.
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B. & Mayaux, P. 2008. Deforestation in Central Africa – estimates at regional national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts. *Remote Sens. Environment*, 112: 1969–1981.
- Eva H., Carboni S., Achard F., Stach N., Durieux L., Faure J-F. & Mollicone D. 2010. Monitoring forest areas from continental to territorial levels using a sample of medium spatial resolution satellite imagery. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.*, 65: 191–197.
- FAO. 2001. *Global forest resources assessment 2000*, Main report, FAO Forestry Paper 140. Rome.
- FAO. 2010. *Global forest resources assessment 2010*, Main report, FAO Forestry Paper 163. Rome.
- FAO. 2012. Global ecological zones for FAO forest reporting: 2010 Update. FRA working paper 179. Rome.

- Feddema, J.J., Oleson, K.W., Bonan, G.B., Mearns, L.O., Buja, L.E., Meehl, G.A. & Washington, W.M. 2005. The importance of land-cover change in simulating future climates. *Science*, 310(5754): 1674–8. DOI: 10.1126/science.1118160.
- Gibbs, H.K., Ruesch, A.S., Achard, F., Clayton, M., Holmgren, P., Ramankutty, N. & Foley J.A. 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 107: 16732–16737.
- Gillis, M.D., Omule, A.Y. & Brierley, T. 2005. Monitoring Canada's forests: the national forest inventory. *Forestry*, 81.
- Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S. & Kurtz, R. 2008. Towards monitoring land cover and land use changes at a global scale: the global land survey 2005. *Photogram. Eng. and Remote Sens.*, 74: 6–10.
- Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., Carroll, M., Dimiceli, C. & Sohlberg, R.A. 2003. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS Vegetation Continuous Fields algorithm. *Earth Interactions*, 7(10).
- Hansen, M.C., Roy, D., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C. & Altstatt, A. 2008. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sens. of Environment*, 112: 2495–2513.
- Hoffhine, E. & Sader, S.A. 2002. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sens. Env.*, 80, 385–396.
- Homer, C., Huang, C., Yang, L., Wylie, B. & Coan, M. 2004. Development of a 2001 national land-cover database for the United States. *Photogram. Eng. and Remote Sens.*, 70(7): 829–840.
- Horler, D.N.H., & Ahern, F.J. 1986. Forestry information content of Thematic Mapper data. *Int. J. Remote Sens.*, 7(3): 405–428. DOI: 10.1080/01431168608954695.
- JRC. 2010. P. Kennedy, ed., *Science for the environment*, Luxembourg, Joint Research Centre (available at <http://ies.jrc.ec.europa.eu/>).
- Ju, J. & Roy D.P. 2008. The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. *Remote Sens. Env.*, 112(3): 1196–1211. DOI: 10.1016/j.rse.2007.08.011.
- Kuemmerle, T., Olofsson, P., Chaskovskyy, O., Baumann, M., Ostapowicz, K., Woodcock, C.E., Houghton, R.A., Hostert, P., Keeton, W.S. & Radeloff, V.C. 2011. Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*, 17(3), 1335–1349. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x.
- Kurz, W.A. 2010. An ecosystem context for global gross forest cover loss estimates. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 107(20): 9025–6. DOI:10.1073/pnas.1004508107.
- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G. & Folke, C. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Env. Change*, 11(4): 261–269. DOI: 10.1016/S0959-3780(01)00007-3.
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(9), 3465–72. DOI: 10.1073/pnas.1100480108.
- Lindquist, E.J., D'Annunzio, R., MacDicken, K., Hansen, M.C., Bodart, C., Raši, R., Achard, F. & Gerrard, A. Submitted. Object-based land cover and land use classification for a global systematic sample of Landsat from 1990–2000–2005: the FAO methods for the FRA-2010 Remote Sensing Survey. Submitted to IEEE JSTARS, 2012.
- Liu, M., & Tian, H. 2010. China's land cover and land use change from 1700 to 2005: Estimations from high-resolution satellite data and historical archives. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(3). DOI:10.1029/2009GB003687.
- Matthews, E. 2001. *Understanding the FRA 2000*, World Resources Institute Forest Briefing No. 1 (available at <http://pdf.wri.org/fra2000.pdf>).
- Mayaux P., Holmgren, P., Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.-J. & Branthomme, A. 2005. Tropical forest cover change in the 1990's and options for future monitoring. *Phil. Trans. B*, 360: 373–384.

- Pan Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. & Hayes, D. 2011. Large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333: 988–993.
- Paustian, K., Ravindranath, N.H. & van Amstel, A. 2006. Forest land. In H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe, eds. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Volume 4. Hayama, Japan, Institute for Global Environmental Strategies (also available at www.ipcc-nggip.iges.or.jp).
- Picquelle, S.J. & Mier, K.L. 2011. A practical guide to statistical methods for comparing means from two-stage sampling. *Fisheries Research* 107(1–3): 1–13. DOI: 10.1016/j.fishres.2010.09.009.
- Potapov, P., Hansen, M., Stehman, S., Loveland, T., & Pittman, K. 2008. Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss. *Remote Sens. Env.*, 112(9): 3708–3719. DOI:10.1016/j.rse.2008.05.006.
- Potapov, P., Hansen, M.C., Gerrand, A.M., Lindquist, E.J., Pittman, K., Turubanova, S. & Loyche-Wilkie, M. 2010. The global Landsat imagery database for the FAO FRA remote sensing survey. *Int. J. Digital Earth*, 4(1): 2–21.
- Potapov, P., Turubanova, S., & Hansen, M.C. 2011. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia. *Remote Sens. Env.*, 115(2): 548–561. Doi: 10.1016/j.rse.2010.10.001.
- Raši, R., Bodart, C., Stibig, H.-J., Eva, H.D., Beuchle, R., Carboni, S., Simonetti, D. & Achard, F. 2011. An automated approach for segmenting and classifying a large sample of multi-date Landsat-type imagery for pan-tropical forest monitoring. *Remote Sens. Env.*, 115 (12):3659–3669. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.004.
- Ridder, R. 2007. *Global Forest Resources Assessment 2010: options and recommendations for a global remote sensing survey of forests*. Forest Resources Assessment Programme, Working Paper 141, Rome, FAO, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai074e/ai074e00.pdf>.
- Sala, O.E. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459): 1770–1774. DOI:10.1126/science.287.5459.1770.
- Seebach, L., Strobl, P., Vogt, P., San-Miguel-Ayanz, J., Kempeneers, P., Sedano, F. & Gerrand, A. 2010. *Pilot study in Europe for the Global Forest Remote Sensing Survey*, JRC Technical Reports, EUR 24488 EN. Luxembourg, Publications Office of the European Union(also available at <http://forest.jrc.ec.europa.eu/publications>).
- Simonetti, D., Beuchle, R. & Eva, H.D. 2011. *User manual for the JRC land cover/ use change validation tool*, p 21. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, Publications Office of the European Union. DOI: 10.2788/18205.
- Stehman, S.V., Sohl, T.L., & Loveland, T.R. 2005. An evaluation of sampling strategies to improve precision of estimates of gross change in land use and land cover. *Int. J. Remote Sens.*, 26: 4941–4957.
- Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L. & Skinner, W.R. 2002. Large forest fires in Canada, 1959–1997. *J. Geophys. Res.* 108(D1): 5/1–5/12. Doi: 10.1029/2001JD000484.
- Toivonen, T., Kalliola, R., Ruokolainen, K., & Naseem Malik, R. 2006. Across-path DN gradient in Landsat TM imagery of Amazonian forests: a challenge for image interpretation and mosaicking. *Remote Sens. Environment*, 100(4): 550–562. DOI: 10.1016/j.rse.2005.11.006.
- Vogelmann, J., Howard, S., Limin, Y., Larson, C., Wylie, B., & Van Driel, N. 2001. Completion of the 1990s National Land Cover Data Set for the conterminous United States from Landsat Thematic Mapper data and ancillary data sources. *Photogram. Eng. & Remote Sens.*, 650–662.
- Williams, D.L., Goward, S., & Arvidson, T. 2006. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. *Photogram. Eng. & Remote Sens.*, 72(10): 1171–1178.

- Woodcock, C.E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindshadler, R., Cohen, W., Gao, F., Goward, S.N., Helder, D.L., Helmer, E.H., Nemani, R., Oreopoulos, L., Schott, J.R., Thenkabail, P.S., Vermote, E.F., Vogelmann, J.E., Wulder, M.A. & Wynne, R. 2008. Free access to Landsat imagery. *Science*, 320(May).
- Wulder, M.A., Dechka, J.A., Gillis, M.D., Luther, J.E., Hall, R.J., Beaudoin, A. & Franklin, S.E. 2006. Operational mapping of the land cover of the forested area of Canada with Landsat data: EOSD land cover program. *The Forestry Chronicle*, 79(6): 1075–1083.

Anexo 1

Metodologías de examen y revisión específicas del país

Se realizaron esfuerzos para producir resultados coherentes en una escala mundial. Sin embargo, algunos países utilizaron métodos únicos para examinar y revisar las clasificaciones de cubierta de la tierra y de uso de la tierra. Dichos métodos se describen a continuación.

CANADÁ

Los datos de Canadá se produjeron utilizando la metodología de clasificación descrita en la parte principal de este informe pero fueron aplicadas en todo el sistema de cuadrícula foto-parcela del Inventario Forestal Nacional (IFN) (Gillis, Omule y Brierley, 2005). El IFN utiliza parcelas de 2 km × 2 km con espaciamentos horizontales y verticales de 20 km (es decir una cuadrícula sistemática de 20 km), produciendo más de 18 000 parcelas individuales. Para los propósitos de la Encuesta de Teledetección 2010, un 25 por ciento de las parcelas de muestreo (es decir cada cuatro parcelas) fue seleccionado para efectuar un análisis inicial (Figura 1). En total se analizaron 4 052 parcelas de 2 km × 2 km en todo Canadá.

En cada ubicación de parcela, se asignaron etiquetas de cubierta de la tierra a los segmentos de imágenes de nivel 1 captadas en 2000 de conformidad con los conjuntos de datos de la Observación Canadiense de la Tierra para el Desarrollo Sostenible de los Bosques (EOSD) (Wulder *et al.*, 2006). El conjunto de datos de la EOSD es una resolución espacial de 25 m, basado en la clasificación de la cubierta de la tierra de 23 clases de Landsat para las zonas boscosas de Canadá. Las 23 clases de EOSD fueron agregadas en una nomenclatura simple de 5 clases, y a los segmentos de nivel 1 del año 2000 se les asignó un valor basado en la mayoría de la cubierta de la tierra presente en las capas subyacentes, según los datos EOSD. Toda la metodología, según se describe en la parte principal de este informe, fue utilizada en donde no existían datos EOSD (por ej. en porciones con poca presencia de árboles en Canadá) así como para clasificar segmentos de 1990 y de 2000.

La conversión inicial de la cubierta de la tierra a uso de la tierra fue completada conforme a las reglas de conversión de la encuesta, según se describe en la parte principal de este informe. Sucesivamente, se implementó una serie de procedimientos de recodificación automatizada durante las fases de examen y revisión de la validación del uso de la tierra. Estos procedimientos implicaban la recodificación de los polígonos a uso de las tierras forestales en casos en los cuales la actividad de aprovechamiento comercial de madera había sido señalada por los datos de foto-parcela del IFN, en los casos en que un incendio forestal había ocurrido durante el período en análisis (según lo señala la Base Nacional de Datos de Incendios de Canadá; Stocks *et al.*, 2002), o cuando no se sabía de ninguna deforestación (de conformidad con la información sobre uso de la tierra y deforestación del IFN). Los sitios restantes fueron examinados por parte de intérpretes de imágenes para garantizar la precisión de la clasificación final de uso de la tierra.

Las estimaciones de los parámetros se calcularon por separado para Canadá y fueron integradas en los análisis de las regiones de FRA y en los ámbitos climáticos de la FAO.

FEDERACIÓN RUSA

La Federación Rusa utilizó una muestra estratificada de 300 sitios de muestreo de teledetección para estimar la superficie de bosques y el cambio en la superficie de bosques durante los tres períodos de la encuesta. Un total de 1 961 sitios de muestreo de teledetección fueron incluidos dentro de la Federación Rusa. Se dispuso de datos Landsat en 1 219 de ellos durante los tres

períodos de tiempo; esta cobertura incompleta se debe a la falta de datos satelitales de la parte oriental de la Federación Rusa en 1990. Aunque todos los 1 961 sitios de muestreo fueron procesados utilizando, en la medida de lo posible, los métodos descritos en la parte principal de este informe, el examen y revisión de todos los sitios de muestreo de la Federación Rusa no fue posible en el marco de tiempo del estudio.

Datos estacionales, libres de nubes de una resolución espacial de 250 m provenientes de MODIS fueron utilizados, junto con índices de cambio de vegetación, a fin de crear 23 estratos de acuerdo al porcentaje de cubierta de bosques y a la cifra de cambio indicada en materia de cubierta de bosques. Un proceso de selección basado en cálculo de probabilidades fue implementado para seleccionar las parcelas finales destinadas al examen y la revisión, de conformidad con una distancia mínima de separación (es decir, se prefirió que las parcelas estuvieran más separadas dentro de cada estrato individual) y con una cantidad mínima (diez) por estrato. Un total de 282 sitios de teledetección fueron interpretados por expertos para establecer las clasificaciones de cubierta de la tierra y uso de la tierra.

Estimaciones de parámetro y de varianza estadística de la muestra estratificada fueron incorporadas a aquellas de la muestra sistemática de Europa y fueron utilizadas en los análisis del ámbito climático boreal.

ESTADOS UNIDOS

Los resultados de teledetección de los Estados Unidos provinieron del Conjunto de Datos Nacionales de la Cubierta de la Tierra (NLCD) (Vogelmann *et al.*, 2001; Homer *et al.*, 2004). El NLCD es un producto de 21 clases de cubierta de la tierra para el territorio de los Estados Unidos contenido dentro de un mismo límite, de acuerdo a los datos satelitales de Landsat. Las 21 clases se redujeron a una nomenclatura simple de cinco clases de cubierta de la tierra necesarias para la encuesta de teledetección 2010. A los segmentos de nivel 2 de 1990, 2000 y 2005 se les asignaron etiquetas de cubierta de la tierra provenientes directamente del Conjunto de datos NLCD para cada período de la encuesta. Las etiquetas de cubierta de la tierra fueron ajustadas al uso de la tierra por medio de reglas de conversión automatizada descritas en la parte principal de este informe. Una muestra de sitios basada en cálculo de probabilidades, enmarcada en el ámbito climático de la FAO, fue seleccionada para realizar el examen y la revisión de los Estados Unidos continentales y Alaska. En cada sitio examinado y revisado, la precisión de la clasificación de uso de la tierra fue evaluada con respecto al NLCD y a fotografías aéreas de alta resolución. Los resultados de la evaluación de precisión fueron utilizados para ajustar la superficie en general de la categoría de uso de la tierra para los Estados Unidos en su totalidad y para cada ámbito climático de la FAO.

Anexo 2

Sitios de la encuesta procesados con respecto a los analizados

La siguiente tabla comprende una lista por región o agrupación específica de países, la cantidad (total) de sitios de muestreo procesados, analizados y no analizados. La principal razón por la cual algunos sitios de la encuesta no fueron analizados se debe a la carencia de datos en uno o más períodos de tiempo debido a una cubierta de nubes, carencia de imágenes satelitales, u otra anomalía en los datos.

Región/país	Analizados	No analizados	Total
África	2 322	196	2 518
Asia	2 863	184	3 047
Canadá	3 737	315	4 052
Europa	625	55	680
Oceanía	769	29	798
Federación Rusa	282	1 679	1 961
América del Sur	1 372	129	1 501
América del Norte y América Central	1 096	126	1 222
Total	13 066	2 713	15 779

Anexo 3

Colaboradores en el examen y revisión

África Central: M. André, A. Bararwandika, G. Begoto, L. Dimanche, F. Esono Mba, N. Gideon, M. Ibara, A. Kondjo Shoko, H. Koy Kondjo, S. Makak, F. Mande, J. Mendofo Biang, C. Musampa, R. Ncogo Motogo, B. Nkoumakali, C. Ouissika

África Oriental: B. Abdelbagi Elsiddig Yousif, H. Abdelraheem Eltigani, S. Abdelrahman Edrees Alim, F. Anouar Haroon Turbo, S. Bakheit Mando, M. Balla Elfadel, N. Chamuya, J. Eltayeb Ahmed Adam, A. Eman Ibrahim Ahmed, A. Hanady Ibrahim Abdelgabbar, S. Ishraga Yousif Ali, A. Jeylani, E. Maina, I. Manal Ali Yassin, M. Mohamed Ahmed, M. Mohamed Rakhi, J. Muchichwa, B. Mutasim Fadlseed, A. Mvududu, K. Mwaura Wamichwe, J. Otieno, M. Ranin Mahdi Elfadel, M. Salah Yousif, O. Saria Mohamed Abd Alsattar, M. Shaie Alim, S. Sibuh, E. Ssenyonjo, T. Taddesse, M. Yousif Modwi Ali

África del Sur: M. Yousif Modwi Ali, L. Basalumi, K. Chirambo, D. Cunhete, M. Dhliwayo, L. Dobson, J. Kamwi, J. Leroux, M. Lotter, J. Macuacua, J. Makinta, J. Mukosha, M. Pande, V. Rahanitriniaina, M. Rutherford, S. Syampungani

África Septentrional y Occidental: A. Abimbola Abayomi, G. Akouehou, M. Barry, R. Bayala, O. Biodun Freeman, A. Djimramadji, O. Faye, A. Garba, A. Goudiaby, B. Jobo Samba, Y. Kombate, A. Lefhaili, A. Mariko, A. Nouhou, E. Ould Boubacar, C. Ould Sidi Mohamed, N. Tangara, M. Yakubu, T. Yantay

América Central: F. Antonio Girón Gonzáles, M. Castillo, I. de la Caridad Diago Urfé, A. Degracia, Y. González Rivera, A. Granja, T. Hernandez Contreras, E. Mejias Sedeño, J. Rodriguez Rubí, C. Velasco, A. Yolanda Duarte Noriega, A. Yovany Murillo

América del Norte: M. Gillis, S. Healey, C. Meneses-Tovar

América del Sur: G. Bayma, E. Bolfe, A. Garçon, D. Gomez, W. Holler, P. Martinho, B. Oliveira, C. Spadotto, R. Torlay, S. Trajano, D. Victoria, C. Bahamondez, R. Benítez, L. Boragno, R. de la Cruz Paiva, R. Echeverría, R. Gosalvez, J. Marquina, P. Melgarejo, C. Montenegro, M. Ormeno, O. Peña, A. Rodríguez Montellano, E. Rojas, M. Uribe

Asia del Este: M. Bayasgalan, Z. Changgui, X. Chaozong, H. Cho, X. Dengpin, Y. Hirata, M. Kexi, S. Kim, W. Liuru, Z. Min, Z. Narangerel, L. Shiyong, E. Sumiyasuren, Z. Wei, L. Xiaonong, C. Xinyun, W. Xuejun

Asia del Sudeste: L. Anh Hung, N. Bantayan, C. Bigol, B. Budiharto, L. Chivin, P. Edirisinghe, K. Homsysavath, P. Htut, J.A.F. Ignazio, Y. Jantakat, P. Kandel, B. Luangphaseuth, J. Pokana, S. Preap, S. Pungkul, M. Rahman, E. Sambale, D. San San Aye, R. Sari, R. Singh Bondwal, M. Srivastava, K. Tshering, M. Van Tinh, L. Wong

Asia Occidental: S. Chukumbaev, H. Samadi, M. Shojalilov

Europa: S. Bartalev, A. Bastrup-Birk, C. Bauerhansl, S. Bauwens, J. Boureau, C. Dos Santos, G. Fernández Centeno, I. Gitas, M. Kendüzler, M. Lawrence, H. Mäkelä, G. Mozgeris, K. Olschofsky, P. Olsson, A. Seletkovic, D. Uebersax, K. Arnt, F. Baiocco, F. Barrett, N. Bonora, T. Bucha, M. Buksha, V. Gancz, F. Hajek, M. Ilyuchyk, T. Kochneva, D. Krasouski, Z. Magyar, I. Marinosci, L. Mezei, E. Rune, V. Sambucini, V. Storozhuk, F. Stytsenko, S. Todorov, B. Tubic, R. Visentin, J. Zarins

Oceanía: C. Howell, P. Lane, M. Mutendeudzi

Resumen de los talleres de examen y revisión nacionales y regionales

Área de interés	Lugar	Fecha	No. de países	No. de expertos	Mujeres	Hombres
Brasil	São José dos Campos	Septiembre 2009	1	2	0	2
África Central	Brazzaville	Febrero 2010	8	16	1	15
América del Norte	Salt Lake City	Marzo 2010	3	3	1	2
Sudáfrica	Ciudad del Cabo	Marzo 2010	8	16	3	13
Europa Occidental	Roma	Marzo 2010	14	14	3	11
América Central	Ciudad de Panamá	Julio 2010	7	12	5	7
Asia del Sudeste	Bangkok	Agosto 2010	14	23	5	18
Asia del Este	Beijing	Septiembre 2010	3	16	3	13
América del Sur	Valdivia	Noviembre 2010	7	14	2	12
Francia	Nogent	Noviembre 2010	1	1	0	1
África Oriental	Nairobi	Diciembre 2010	6	11	1	10
África Occidental	Dakar	Marzo 2011	13	18	1	17
Nueva Zelandia	Roma	Marzo 2011	1	1	0	1
Australia	Canberra	Abril 2011	1	2	1	1
Europa del Este	Budapest	Mayo 2011	9	14	1	13
Irlanda/Letonia	Teleconferencia	Mayo 2011	2	2	0	2
Sudán	Jartum	Mayo 2011	1	18	5	13
Brasil	Campinas	Junio 2011	1	9	3	6
Italia	Roma	Junio 2011	1	5	1	4
Asia Occidental, África del Norte	Roma	Julio 2011	5	5	0	5
Federación Rusa	Moscú	Septiembre 2011	1	2	0	2
Total			107	204	36	168

Anexo 4

Detalles de los cálculos

1. Para cada sitio de muestreo, se extrajeron las siguientes variables de la base de datos PostGreSQL:

- Identificación única del sitio (*rss_id*)
- latitud (*lat*) y longitud (*lon*) del centro del sitio
- ámbito climático (*domain*)
- región (*continent*)
- superficie total del sitio (*total*)
- superficie del agua (*water*)
- superficie sin dato (*nodata*)
- superficie de bosques en 1990, 2000 y 2005 (*forest90*, *forest00*, *forest05*)
- superficie de incrementos y pérdidas de bosque en 1990-2000 y 2000-2005 (*gain9000*, *loss9000*, *gain0005*, *loss0005*)
- fecha juliana de adquisición de la imagen en 1990, 2000, 2005 (*jdate90*, *jdate00*, *jdate05*)

2. Luego se calcularon las siguientes variables:

- Superficie de tierra dentro del sitio (*gla*)

$$\text{Ec. 1} \quad gla = total - water - nodata$$

- Factor de corrección de latitud (*corrlat*)

$$\text{Ec. 2} \quad \begin{cases} \text{si } lat \leq 60^\circ \text{ entonces } corrlat = \cos(lat) \\ \text{si } lat > 60^\circ \text{ entonces } corrlat = 2 * \cos(lat) \end{cases}$$

Nota: La cantidad de muestras se redujo para incluir sólo los grados pares de longitud superiores a 60 grados de latitud (La Figura 1 muestra el estrechamiento de las muestras en las latitudes norte más altas).

- Peso de la muestra *i* (w_i)

$$\text{Ec. 3} \quad w_i = \frac{gla_i * corrlat_i}{\sum_j gla_j * corrlat_j}$$

- Proporción de bosques en 1990, 2000 y 2005 (*pfor90*, *pfor00*, *pfor05*)

$$\text{Ec. 4} \quad \begin{cases} pfor90 = \frac{forest90}{gla} \\ pfor00 = \frac{forest00}{gla} \\ pfor05 = \frac{forest05}{gla} \end{cases}$$

- Proporción anual de incrementos, pérdidas y cambio neto en 1990–2000 ($pagain9000$, $paloss9000$, $panet9000$)

$$\text{Ec. 5} \quad \left\{ \begin{array}{l} pagain9000 = \frac{gain9000}{gla * (jdate00 - jdate90)} \\ paloss9000 = \frac{loss9000}{gla * (jdate00 - jdate90)} \\ panet9000 = pagain9000 - paloss9000 \end{array} \right.$$

N.B. $pagain0005$, $paloss0005$ y $panet0005$ se calculan de la misma manera

3. En cada subconjunto S de muestras (por ej. un ámbito climático), el valor promedio (\bar{x}) y la desviación estándar (std) de $pfor90$, $pfor00$, $pfor05$, $pagain9000$, $paloss9000$, $panet9000$, $pagain0005$, $paloss0005$ y $panet0005$ fueron calculados por medio del paquete de encuesta de R³ utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Ec. 6} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i \in S} W_i * x_i}{\sum_{i \in S} W_i}$$

$$\text{Ec. 7} \quad std = \sqrt{\frac{\sum_{i \in S} W_i * (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i \in S} W_i}}$$

4. Valores finales (por ej. la pérdida anual en la superficie de bosques entre 1990 y 2000 en un ámbito climático dado) fue obtenida al multiplicar el promedio y la desviación estándar por la superficie de la región (A):

$$\text{Ec. 8} \quad loss = \overline{paloss9000} * A \pm 1.96 * \frac{std(paloss9000)}{\sqrt{N}} * A$$

³ <http://cran.fhrc.org/web/packages/survey/index.html>.

CUADERNOS TÉCNICOS DE LA FAO

ESTUDIOS FAO: MONTES

1	Manual sobre contratos de aprovechamiento de bosques en tierras públicas, 1977 (E F I)		rendimiento – Vol. 1. Estimación del volumen, 1980 (C E F I)
2	Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento, 1978 (E F I)	22/2	Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento – Vol. 2. Predicción del rendimiento, 1980 (C E F I)
3	Lista mundial de escuelas forestales, 1977 (E/F/I)		
3 Rev.	1. Lista mundial de escuelas forestales, 1981 (E/F/I)	23	Precios de productos forestales 1961-1980, 1981 (E/F/I)
3 Rev.	2. Lista mundial de escuelas forestales, 1986 (E/F/I)		
4/1	La demanda, la oferta y el comercio de pasta y papel en el mundo – Vol. 1, 1977 (E F I)	24	Cable logging systems, 1981 (C I)
4/2	La demanda, la oferta y el comercio de pasta y papel en el mundo – Vol. 2, 1978 (E F I)	25	Public forestry administrations in Latin America, 1981 (I)
5	La comercialización de las maderas tropicales, 1977 (E I)	26	La silvicultura y el desarrollo rural, 1981 (E F I)
6	National parks planning, 1976 (E F I)	27	Manual of forest inventory, 1981 (F I)
7	Actividades forestales en el desarrollo de comunidades locales, 1984 (Ar E F I)	28	Aserraderos pequeños y medianos en los países en desarrollo, 1982 (E I)
8	Técnica de establecimiento de plantaciones forestales, 1978 (Ar C E F I*)	29	Productos forestales: oferta y demanda mundial 1990 y 2000, 1982 (E F I)
9	Las astillas de madera: su producción y transporte, 1978 (C E I)	30	Los recursos forestales tropicales, 1982 (E F I)
10/1	Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos – 1. Principios y metodología, 1978 (E F I)	31	Appropriate technology in forestry, 1982 (I)
10/2	Evaluación de los costos de extracción a partir de inventarios forestales en los trópicos – 2. Recolección de datos y cálculos, 1978 (E F I)	32	Clasificación y definiciones de los productos forestales, 1982 (Ar/E/F/I)
11	Savanna afforestation in Africa, 1977 (F I)	33	La explotación maderera de bosques de montaña, 1984 (E F I)
12	China: forestry support for agriculture, 1978 (I)	34	Especies frutales forestales, 1982 (E F I)
13	Precios de productos forestales 1960-1977, 1979 (E/F/I)	35	Forestry in China, 1982 (C I)
14	Mountain forest roads and harvesting, 1979 (I)	36	Tecnología básica en operaciones forestales, 1983 (E F I)
14 Rev.	1. Logging and transport in steep terrain, 1985 (I)	37	Conservación y desarrollo de los recursos forestales tropicales, 1983 (E F I)
15	AGRIS forestal: catálogo mundial de los servicios de información y documentación, 1979 (E/F/I)	38	Precios de productos forestales 1962-1981, 1982 (E/F/I)
16	China: industrias integradas de elaboración de la madera, 1979 (E F I)	39	Frame saw manual, 1982 (I)
17	Análisis económico de proyectos forestales, 1980 (E F I)	40	Circular saw manual, 1983 (I)
17 Sup.	1. Análisis económico de proyectos forestales: estudios monográficos, 1982 (E I)	41	Métodos simples para fabricar carbón vegetal, 1983 (E F I)
17 Sup.	2. Economic analysis of forestry projects: readings, 1980 (C I)	42	Disponibilidades de leña en los países en desarrollo, 1983 (Ar E F I)
18	Precios de productos forestales 1960-1978, 1980 (E/F/I)	43	Ingresos fiscales procedentes de los montes en los países en desarrollo, 1987 (E F I)
19/1	Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 1, 1980 (I)	44/1	Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos – 1. Ejemplos de África oriental, 1984 (E F I)
19/2	Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 2, 1980 (I)	44/2	Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos – 2. Ejemplos del Asia sudoriental, 1985 (E F I)
20	Mejora genética de árboles forestales, 1980 (C E F I)	44/3	Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos – 3. Ejemplos de América Latina, 1987 (E I)
20/2	Guía para la manipulación de semillas forestales, 1991 (E I)	45	Establishing pulp and paper mills, 1983 (I)
21	Suelos de las regiones tropicales húmedas de tierras bajas – Efectos causados por las especies de crecimiento rápido, 1984 (E F I)	46	Precios de productos forestales 1963-1982, 1983 (E/F/I)
22/1	Estimación del volumen forestal y predicción del	47	La enseñanza técnica forestal, 1991 (E F I)
		48	Evaluación de tierras con fines forestales, 1985 (C E F I)
		49	Extracción de trozas mediante bueyes y tractores agrícolas, 1984 (E F I)
		50	Changes in shifting cultivation in Africa, 1984 (F I)
		50/1	Changes in shifting cultivation in Africa – seven case-studies, 1985 (I)

51/1	Studies on the volume and yield of tropical forest stands – 1. Dry forest formations, 1989 (F I)	87	Explotación en pequeña escala de productos forestales madereros y no madereros con participación de la población rural, 1990 (E F I)
52/1	Cost estimating in sawmilling industries: guidelines, 1984 (I)	88	Management of tropical moist forests in Africa, 1989 (F I P)
52/2	Field manual on cost estimation in sawmilling industries, 1985 (I)	89	Review of forest management systems of tropical Asia, 1989 (I)
53	Ordenación intensiva de montes para uso múltiple en Kerala, 1985 (E F I)	90	Silvicultura y seguridad alimentaria, 1991 (Ar E I)
54	Planificación del desarrollo forestal, 1984 (E)	91	Manual de tecnología básica para el aprovechamiento de la madera, 1990 (E F I) (Publicado solamente en la Colección FAO: Capacitación, N° 18)
55	Ordenación forestal de los trópicos para uso múltiple e intensivo, 1985 (E F I)	92	Forestry policies in Europe – An analysis, 1989 (I)
56	Breeding poplars for disease resistance, 1985 (I)	93	Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales, 1991 (E I)
57	La madera de coco – Elaboración y aprovechamiento, 1986 (E I)	94	Manual on sawmill operational maintenance, 1990 (I)
58	Cuidado y mantenimiento de sierras, 1989 (E I)	95	Precios de productos forestales 1969-1988, 1990 (E/F/I)
59	Efectos ecológicos de los eucaliptos, 1987 (C E F I)	96	Planning and managing forestry research: guidelines for managers, 1990 (I)
60	Seguimiento y evaluación de proyectos forestales de participación, 1991 (E F I)	97	Productos forestales no madereros: posibilidades futuras, 1992 (E I)
61	Precios de productos forestales 1965-1984, 1985 (E/F/I)	98	Timber plantations in the humid tropics of Africa, 1993 (F I)
62	Lista mundial de instituciones que realizan investigaciones sobre bosques y productos forestales, 1985 (E/F/I)	99	Cost control in forest harvesting and road construction, 1992 (I)
63	Industrial charcoal making, 1985 (I)	100	Introducción a la ergonomía forestal para países en desarrollo, 1993 (E F I)
64	Cultivo de árboles por la población rural, 1988 (Ar E F I)	101	Ordenación y conservación de los bosques densos de América tropical, 1993 (E F I P)
65	Forest legislation in selected African countries, 1986 (F I)	102	El manejo de la investigación forestal, 1994 (E F I)
66	Organización de la extensión forestal, 1988 (C E I)	103	Plantaciones forestales mixtas y puras de zonas tropicales y subtropicales, 1995 (E F I)
67	Some medicinal forest plants of Africa and Latin America, 1986 (I)	104	Precios de productos forestales 1971-1990, 1992 (E/F/I)
68	Appropriate forest industries, 1986 (I)	105	Compendium of pulp and paper training and research institutions, 1992 (I)
69	Management of forest industries, 1986 (I)	106	Evaluación económica de las repercusiones de los proyectos forestales, 1995 (E/F/I)
70	Terminología del control de incendios en tierras incultas, 1986 (E/F/I)	107	Conservación de los recursos genéticos en la ordenación de los bosques tropicales – Principios y conceptos, 1993 (E/F/I)
71	Repertorio mundial de instituciones de investigación sobre bosques y productos forestales, 1986 (E/F/I)	108	A decade of wood energy activities within the Nairobi Programme of Action, 1993 (I)
72	El gas de madera como combustible para motores, 1993 (E I)	109	Directory of forestry research organizations, 1993 (I)
73	Productos forestales: proyecciones de las perspectivas mundiales 1985-2000, 1986 (E/F/I)	110	Deliberaciones de la reunión de expertos sobre investigación forestal, 1993 (E/F/I)
74	Guidelines for forestry information processing, 1986 (I)	111	Forestry policies in the Near East region: analysis and synthesis, 1993 (I)
75	An operational guide to the monitoring and evaluation of social forestry in India, 1986 (I)	112	Evaluación de los recursos forestales de los países tropicales – 1990, 1994 (E F I)
76	Wood preservation manual, 1986 (I)	113	<i>Ex situ</i> storage of seeds, pollen and <i>in vitro</i> cultures of perennial woody plant species, 1993 (I)
77	Databook on endangered tree and shrub species and provenances, 1986 (I)	114	Análisis de impactos de proyectos forestales: problemas y estrategias, 1995 (E F I)
78	Appropriate wood harvesting in plantation forests, 1987 (I)	115	Forestry policies of selected countries in Asia and the Pacific, 1993 (I)
79	Pequeñas empresas de elaboración de productos del bosque, 1990 (E F I)	116	Les panneaux à base de bois, 1993 (F)
80	Forestry extension methods, 1987 (I)	117	Mangrove forest management guidelines, 1993 (I)
81	Guidelines for forest policy formulation, 1987 (C I)	118	Biotechnology in forest tree improvement, 1994 (I)
82	Precios de productos forestales 1967-1986, 1988 (E/F/I)	119	Número sin atribuir
83	Trade in forest products: a study of the barriers faced by the developing countries, 1988 (I)	120	Decline and dieback of trees and forests – A global overview, 1994 (I)
84	Productos forestales: proyecciones de las perspectivas mundiales 1987-2000, 1988 (E/F/I)		
85	Programas de estudios para cursos de extensión forestal, 1988 (E/F/I)		
86	Forestry policies in Europe, 1988 (I)		

- 121 Ecología y enseñanza rural – Manual para profesores rurales del área andina, 1994 (E I)
- 122 Sistemas de realización de la ordenación forestal sostenible, 1995 (E F I)
- 123 Enseñanza forestal – Nuevas tendencias y perspectivas, 1994 (E F I)
- 124 Forest resources assessment 1990, Global synthesis, 1995 (E F I)
- 125 Precios de productos forestales 1973-1992, 1995 (E/F/I)
- 126 Cambio climático, bosques y ordenación forestal – Una visión de conjunto, 1995 (E F I)
- 127 Valoración de los bosques: contexto, problemas y directrices, 1997 (E F I)
- 128 Forest resources assessment 1990 – Tropical forest plantation resources, 1995 (I)
- 129 Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry, 1996 (I)
- 130 Forest resources assessment 1990 – Survey of tropical forest cover and study of change processes, 1996 (I)
- 131 Ecología y enseñanza rural – Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas, 1996 (E)
- 132 Forestry policies of selected countries in Africa, 1996 (E/F)
- 133 Forest codes of practice – Contributing to environmentally sound forest operations, 1996 (E)
- 134 Estimating biomass and biomass change of tropical forests – A primer, 1997 (I)
- 135 Guidelines for the management of tropical forests – 1. The production of wood, 1998 (E I)
- 136 Managing forests as common property, 1998 (I)
- 137 Forestry policies in the Caribbean – Volume 1: Proceedings of the Expert Consultation, 1998 (I)
- 137/1 Forestry policies in the Caribbean – Volume 1: Proceedings of the Expert Consultation, 1998 (E)
- 137/2 Forestry policies in the Caribbean – Volume 2: Reports of 28 selected countries and territories, 1998 (I)
- 138 Reunión de la FAO sobre políticas públicas que afectan a los incendios forestales, 2001 (E F I)
- 139 Principios de administración pública para concesiones y contratos relativos a los bosques estatales, 2002 (E F I)
- 140 Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000 – Informe principal, 2002 (E I)
- 141 Forestry outlook study for Africa – Regional report: opportunities and challenges towards 2020, 2003 (Ar F I)
- 142 Impactos intersectoriales de las políticas forestales y de otros sectores, 2005 (E F I)
- 143 Conservation et gestion durable des écosystèmes des forêts tropicales humides de l’Afrique centrale, 2003 (F)
- 144 Climate change and the forest sector – Possible national and subnational legislation, 2004 (I)
- 145 Las mejores prácticas para fomentar la observancia de la ley en el sector forestal, 2006 (E F I R)
- 146 Las microfinanzas y las pequeñas empresas forestales, 2005 (Ar E F I)
- 147 Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 – Hacia la ordenación forestal sostenible, 2006 (E F I)
- 148 Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe, 2006 (E)
- 149 Mejorar las actividades forestales para reducir la pobreza – Guía para profesionales , 2006 (Ar E F I)
- 150 La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas, 2006 (E F I)
- 151 Fire management – Global assessment 2006, 2007 (I)
- 152 People, forests and trees in West and Central Asia – Outlook for 2020, 2007 (Ar I R)
- 153 The world’s mangroves 1980–2005, 2007 (I)
- 154 Bosques y energía – Cuestiones clave, 2008 (Ar C E F I R)
- 155 Los bosques y el agua, 2009 (E F I)
- 156 Global review of forest pests and diseases, 2009 (I)
- 157 Human-wildlife conflict in Africa – Causes, consequences and management strategies, 2009 (F I)
- 158 Fighting sand encroachment – Lessons from Mauritania (F I)
- 159 Impact of the global forest industry on atmospheric greenhouse gases, 2010 (I)
- 160 Criteria and indicators for sustainable woodfuels, 2010 (I)
- 161 Elaboración de una política forestal eficaz – Una guía, 2010 (E F I)
- 162 What woodfuels can do to mitigate climate change, 2010 (I)
- 163 Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 – Informe principal (Ar C E F I R)
- 164 Guide to implementation of phytosanitary standards in forestry, 2011 (E R)
- 165 Reforma de la tenencia forestal. (E F I) Cuestiones, principios y proceso, 2011 (E F I)
- 166 Community-based fire management – A review (I)
- 167 Wildlife in a changing climate (I)
- 168 Soil carbon monitoring using surveys and modelling – General description and application in the United Republic of Tanzania (I)

Disponibilidad: junio de 2011

Ar – Árabe	Multil – Multilingüe
C – Chino	* Agotado
E – Español	(E F I) = Ediciones separadas
F – Francés	(en español, francés
I – Inglés	e inglés)
P – Portugués	(E/F/I) = Edición trilingüe
R – Ruso	

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los Puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente solicitándolos al Grupo de Ventas y Comercialización, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia.

Cambio de uso de las tierras forestales mundiales 1990–2005

Este informe presenta los principales resultados sobre el uso de las tierras forestales y el cambio de uso de la tierra entre 1990 y 2005 de la Encuesta por teledetección de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2010 de la FAO. Este es el primer informe de su género en presentar estimaciones sistemáticas sobre el uso y cambio de las tierras forestales mundiales.

La ambiciosa meta de la Encuesta de teledetección consistía en utilizar datos de teledetección para obtener estimaciones coherentes a nivel mundial de la superficie del bosque y de los cambios en la cubierta de árboles y el uso de las tierras forestales entre 1990 y 2005. En términos generales, se encontró que había una disminución neta de la superficie de bosques a nivel mundial entre 1990 y 2005, siendo la pérdida neta más alta en América del Sur. Mientras la superficie de bosques incrementó en las zonas climáticas boreal, templada y subtropical durante el periodo evaluado, en la zona tropical se disminuyó con un promedio de 6.8 millones de hectáreas anuales. La encuesta estimó que la superficie total de los bosques del mundo en 2005 era de 3.8 mil millones de hectáreas, es decir el 30 por ciento de la superficie mundial de la tierra.

Este informe es el resultado de muchos años de planificación y de tres años de trabajo minucioso por parte del personal de la FAO, del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, así como de los insumos aportados por expertos técnicos de más de 100 países. Muchos de estos colaboradores constituyen en la actualidad una valiosa red mundial de conocimiento sobre teledetección forestal y uso de la tierra.

