

PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE DEFORESTACIÓN DEL ECUADOR CONTINENTAL

JULIO 2017

PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE DEFORESTACIÓN DEL ECUADOR CONTINENTAL

Ministerio del Ambiente
Sistema Único de Información Ambiental

Créditos:

Unidad de Monitoreo – Sistema Único de Información Ambiental - SUIA
Sala de Observación del Proyecto de Monitoreo de la Cobertura Forestal - Organización del
Tratado de Cooperación Amazónica.

Calle Madrid 1159 y Andalucía
Quito, Ecuador.
Telf.: 593 - 2- 3987600
www.ambiente.gob.ec

ACTUALIZACIONES DE LA METODOLOGÍA

Versión	Nombre del documento	Año
Documento original	Protocolo metodológico para la generación del Mapa de Deforestación Histórica en el Ecuador Continental. Programa Socio Bosque	2010
Primera actualización de la metodología	Actualización del protocolo metodológico para la generación del Mapa Histórico de Deforestación del Ecuador Continental	2014
Segunda actualización de la metodología	Protocolo metodológico para la generación de mapas de deforestación del Ecuador Continental	2017

TABLA DE CONTENIDO

ACRONIMOS	6
1. ANTECEDENTES Y RESUMEN DE LA METODOLOGÍA.....	7
1.1. Antecedentes	7
1.2. Consideraciones técnicas	8
1.3. Resumen de la metodología.....	9
1.4. Diagrama de procesos.....	10
2. CONSIDERACIONES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICAS INICIALES.....	11
2.1. Definición operativa de bosque, leyenda temática y deforestación.	11
2.2. Resolución espacial y selección de sensores.....	12
2.3. Selección y recopilación de imágenes satelitales.....	12
2.4. Estructuración de datos y procesos	13
2.5. Actualización del protocolo.....	13
3. PRE – PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES SATELITALES	13
3.1. Descarga y preparación de imágenes satelitales	13
3.2. Correcciones geométricas.....	14
3.3. Correcciones radiométricas	14
4. GENERACIÓN DE MAPAS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	15
4.1. Clasificación de imágenes satelitales	15
4.2. Trabajo de campo.....	15
4.3. Generación de mosaicos de las clasificaciones	16
4.4. Edición visual.....	16
4.5. Revisión de las trayectorias de cambio de cobertura	17
5. CÁLCULO DE LAS TASAS DE DEFORESTACIÓN.....	18
6. EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN	19
6.1. Evaluación de la precisión de los mapas de cobertura y uso de la tierra	19
6.2. Evaluación de la precisión del cambio de cobertura de las transiciones de bosque.....	19
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	20
8. BIBLIOGRAFÍA	21

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Leyenda temática de cobertura de la tierra

Anexo 2. Documentación de datos y procesos

Anexo 3. Automatización de procesamiento de imágenes satelitales

Anexo 4. Corregistro de imágenes satelitales Landsat

Anexo 5. Clasificación de imágenes satelitales

Anexo 6. Levantamiento de puntos de campo

Anexo 7. Generación de mosaicos de la clasificación de imágenes

Anexo 8. Edición visual

Anexo 9. Cálculo de las tasas de deforestación

Anexo 10. Evaluación de la precisión de cobertura y uso de la tierra

Anexo 11. Evaluación de la precisión de las transiciones de bosque

ACRONIMOS

CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (Actual IEE).
CONDESAN	Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Eco región Andina.
COP	Conferencia de las Partes.
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.
CUT	Cobertura y Uso de la Tierra.
CCUT	Cambio de Cobertura y Uso de la Tierra.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
IEE	Instituto Espacial Ecuatoriano.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry.
MAE	Ministerio del Ambiente.
MAGAP	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca.
MRV	Medición, Reporte y Verificación.
OLI	Operation Land Imager.
OTCA	Organización del Tratado de Cooperación Amazónica.
QA	Quality Assessment.
REDD+	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación, Conservación, Manejo Sostenible de los Bosques y la Mejora de las Reservas de Carbono.
ROI	Region of Interest.
SCAC	Sistema de Control y Aseguramiento de la Calidad.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SNAP	Sistema Nacional de Área Protegidas.
USGS	United States Geological Survey.
UTM	Proyección Universal Transversa de Mercator.
WGS84	World Geodetic System 1984.

PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE DEFORESTACIÓN DEL ECUADOR CONTINENTAL

1. ANTECEDENTES Y RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

1.1. Antecedentes

La deforestación es uno de los principales indicadores para determinar el estado del patrimonio natural, ya que conlleva consecuencias negativas como la pérdida de biodiversidad, afectación de los servicios ambientales y la destrucción de los hogares de culturas ancestrales (MAE, 2012). A nivel internacional la implementación de actividades REDD+ está siendo discutida como una herramienta de respuesta para reducir la emisión de gases que contribuyen al calentamiento global. La Conferencia de las Partes de la CMNUCC realizada en Bali en 2007 (COP13) reconoció la necesidad de promover la construcción de capacidades en países en vías de desarrollo para contar con una base sólida para el monitoreo de dinámicas de cambio de uso de la tierra (especialmente conversión y degradación de bosques) y las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero.

Tomando en cuenta estos criterios, en el año 2009 el Programa Socio Bosque del Ministerio del Ambiente del Ecuador y el CONDESAN iniciaron un proceso de cooperación para el desarrollo conjunto de la metodología para el Mapa Histórico de Deforestación del Ecuador Continental, mediante la cual se generaron mapas de cobertura y uso de la tierra a escala 1:100.000 para los años 1990, 2000 y 2008; que permitieron identificar espacialmente conversiones del bosque a otras coberturas y usos de la tierra en los períodos 1990 – 2000 y 2000 – 2008 con lo cual quedó conformada la línea base de deforestación. (MAE, 2010)

La metodología empleada para la generación de los Mapas Históricos se describe a detalle en el documento “Actualización del protocolo metodológico para la generación del Mapa Histórico de Deforestación del Ecuador Continental” de Agosto de 2014, este documento junto con sus 17 anexos permiten replicar todo el procedimiento metodológico¹.

En el año 2014 el Ministerio del Ambiente a través de la Subsecretaria de Patrimonio Natural y el Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, en un esfuerzo conjunto generaron el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental a escala 1:100.000, cuya temporalidad corresponde a los años 2013 - 2014. La metodología empleada se basó en los protocolos metodológicos generados por MAE para la generación del Mapa Histórico de Deforestación y en los protocolos metodológicos generados por el MAGAP. El mapa generado permitió actualizar la tasa de deforestación para el periodo 2008-2014.

Desde el año 2015 la generación de información sobre bosques lo realiza el Componente de Gestión, Procesamiento de la Información y Geomática, que es parte del Sistema Único de Información Ambiental del MAE, que tiene como uno de sus objetivos la actualización del indicador de deforestación a nivel nacional cada 2 años, con lo cual se tendrá datos para un monitoreo continuo de las dinámicas de la cobertura boscosa.

¹ La información se encuentra disponible en el link <http://suia.ambiente.gob.ec/en/documentos/> en la sección de Anexos del nivel de referencia.

La información generada es un insumo indispensable para la implementación de políticas públicas relacionadas al manejo sostenible de los recursos naturales y es uno de los indicadores del proceso de Medición, Reporte y Verificación (MRV) para la implementación de REDD+, en el contexto de las actividades y financiamiento basados en resultados.

Los procesos realizados por el MAE tienen el apoyo de la Sala de Observación del proyecto “Monitoreo de la Cobertura Forestal en la Región Amazónica” de la OTCA, que ha brindado soporte técnico y financiero desde junio de 2012.

La metodología implementada no es un procedimiento cerrado, al contrario se espera que sea abierto y tenga una dinámica de actualización permanente conforme a la disponibilidad de nueva información y el mejoramiento de procesos. Con base a este criterio, el presente documento tiene como objetivo describir la metodología para la generación de mapas de deforestación en base a la clasificación e interpretación de imágenes satelitales, el cual es una actualización de la metodología empleada para la generación de los mapas históricos de deforestación.

Como parte del proceso de mejoramiento continuo se tiene planificado realizar la automatización de procesos, que permitirá reducir los tiempos y el análisis de nuevas metodologías de detección de deforestación, en este sentido el Ecuador ha recibido asesoría técnica de FAO a través del Targeted Support que apoya a los países para que desarrollen un sólido sistema nacional de monitoreo forestal como parte de un sistema MRV.

1.2. Consideraciones técnicas

La metodología ha sido desarrollada utilizando los siguientes criterios de diseño:

- Mapear trayectorias de CCUT utilizando el Enfoque 3 establecido por el IPCC. En este enfoque se representan de forma espacialmente explícita y exhaustiva las trayectorias de deforestación a nivel nacional. (IPCC, 2003)
- Lograr una representación consistente de tipos de cobertura y uso de la tierra. Esto quiere decir que la misma metodología va a ser utilizada en el reporte de la deforestación para minimizar la incertidumbre debido a variaciones metodológicas.
- La metodología propuesta es sencilla con el propósito de minimizar costos de implementación (p.ej. en procesos de capacitación especializada).
- La metodología incluye un protocolo para realizar la validación de los mapas de cobertura y uso de la tierra en territorio, priorizando las áreas donde existe cambio de cobertura, alta variabilidad temática y que sean de fácil acceso.
- La metodología propuesta incluye procesos de aseguramiento y control de calidad como parte de los anexos. Esto se traduce en procedimientos detallados de documentación y manejo de datos.

1.3. Resumen de la metodología

- El mapeo de clases de cobertura y uso de la tierra se realiza utilizando sensores ópticos de mediana resolución montados sobre plataformas satelitales. Los sensores escogidos fueron LANDSAT 7 ETM+ y LANDSAT 8 OLI.
- La clasificación de cobertura y uso de la tierra se realiza de forma independiente para cada año de referencia. La detección de cambios de coberturas se realiza mediante un proceso de post-clasificación.
- Se utiliza una leyenda jerárquica (anidada) donde el nivel superior corresponde a las seis clases de cobertura y uso de la tierra definidas por el IPCC (2006), el segundo nivel corresponde a las 16 clases operativas del nivel 2, que fueron acordadas por las entidades encargadas de la generación de información de cobertura y uso de la tierra a nivel nacional: MAE – CLIRSEN – MAGAP.
- El pre-procesamiento de las imágenes satelitales utilizadas consiste en las fases de corrección y proyección a un único sistema de referencia.
- La clasificación de las imágenes satelitales se realiza de manera independiente para cada imagen satelital mediante un proceso supervisado, en el cual se requiere que el intérprete tenga una gran familiaridad con el área de interés para poder interpretar y delimitar sobre la imagen satelital áreas representativas denominadas ROI de cada una de las categorías representadas y que forman parte de la leyenda temática, a partir de las áreas de entrenamiento se realiza una clasificación automática, que posteriormente es editada visualmente para resolver problemas de mezcla espectral entre clases temáticas.
- Las áreas donde ha ocurrido conversión de la cobertura boscosa se identifican comparando pares consecutivos de mapas de CUT, con los cuales se generan matrices de cambio para calcular las distintas métricas de deforestación.
- Se cuantifica la incertidumbre asociada a los mapas de CUT y los mapas de CCUT de forma estadísticamente robusta. Esta cuantificación combina distintas estrategias (p.ej. trabajo de campo, uso de imágenes de referencia) de acuerdo al contexto de accesibilidad existente en distintas regiones del Ecuador.
- Se plantea un proceso de evaluación y control de calidad durante todos los componentes de la metodología con el objeto de disminuir la incidencia de errores y promover la consistencia temática de los mapas de CUT.
- Se utiliza un proceso de manejo de información a través de bases de datos relacionales que permite sistematizar las fuentes de datos utilizados, los resultados obtenidos y adicionalmente documentar la implementación de la metodología.

Los lineamientos del IPCC (2003) requieren la implementación de un sistema de control y aseguramiento de la calidad (SCAC). El control de la calidad se realiza mediante actividades que monitorean la integridad y consistencia de los datos, identifican y corrigen errores, documentan y archivan la implementación de procedimientos y los resultados de la metodología. El aseguramiento de la calidad requiere un sistema de procedimientos de revisión realizado por personas u organizaciones independientes a la agencia que implementa el inventario de emisiones de GEI en el sector LULUCF. En este contexto, se plantea un conjunto de procedimientos para el SCAC que se llevan a cabo en paralelo con las distintas etapas de la metodología. Estos procedimientos se identifican en el presente documento dentro de cuadros de texto con el encabezado SCAC.

1.4. Diagrama de procesos

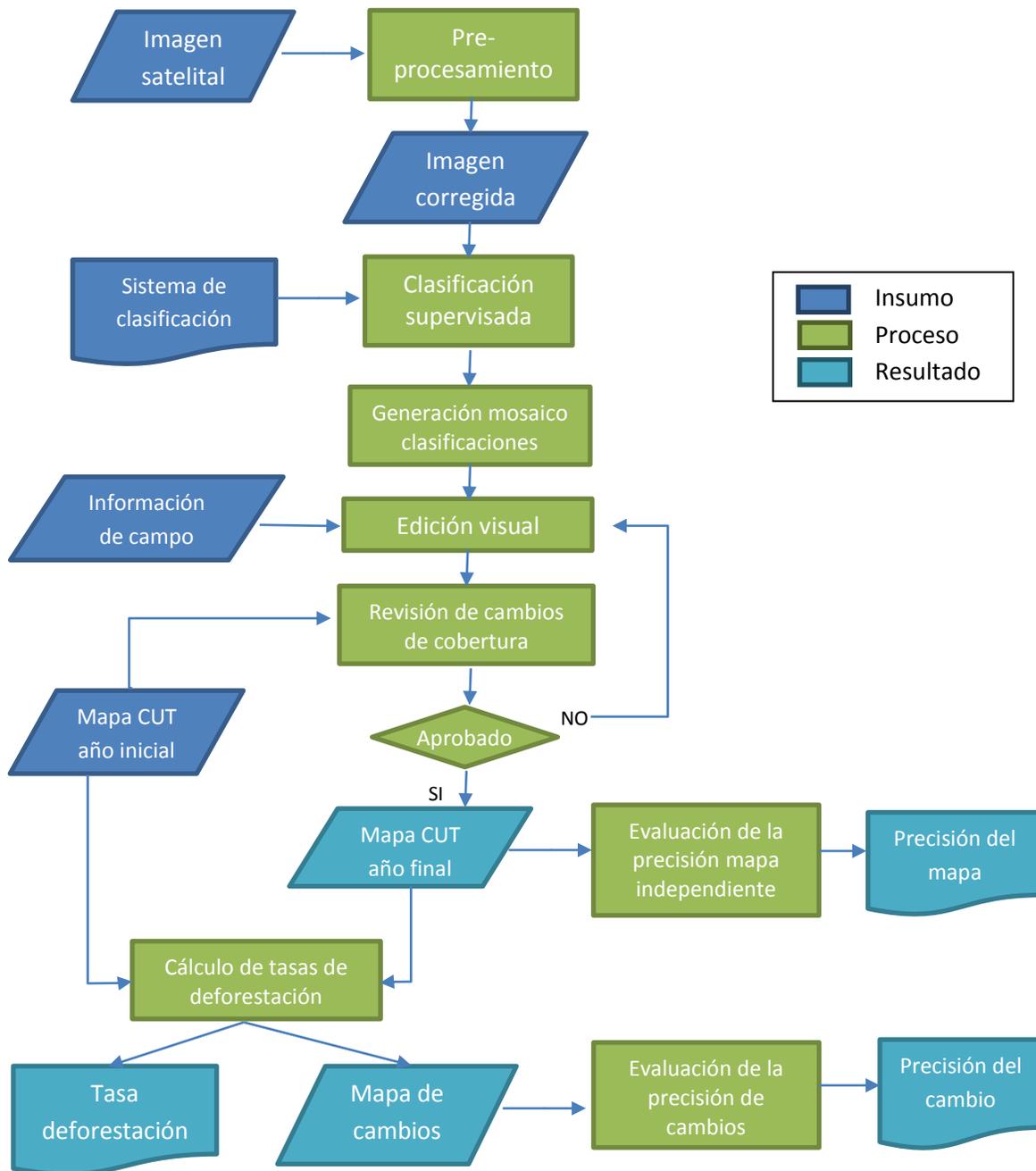


Figura 1. Diagrama de procesos para el cálculo de tasas de deforestación

2. CONSIDERACIONES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICAS INICIALES

2.1. Definición operativa de bosque, leyenda temática y deforestación.

Para el monitoreo de la deforestación partimos de la definición de bosque que de acuerdo al Ministerio del Ambiente para ámbitos de REDD+, se lo define como la comunidad vegetal de por lo menos una hectárea (1 ha) con árboles de 5m de altura y con un mínimo de 30% de cobertura de dosel o capa aérea vegetal. Se incluye: las áreas cubiertas de bambú y palmas nativas, siempre que éstas alcancen el límite mínimo establecido en cuanto a altura y cubierta de copas. Mientras que se excluyen: las formaciones de árboles utilizadas en sistemas de producción agrícola, por ejemplo plantaciones frutales, plantaciones de palma africana y sistemas agroforestales. Excluye además los árboles que crecen en parques y jardines urbanos.

La leyenda y definiciones operativas han sido construidas de forma jerárquica, con un primer nivel general que corresponde a las clases de cobertura y uso de la tierra definido por el IPCC. Los niveles subsiguientes representan clases de cobertura/uso más detalladas, que mantienen coherencia con las definiciones de la clase superior (Tabla 1.). Las definiciones operativas fueron realizadas de acuerdo a un consenso entre las siguientes instituciones: MAE, SINAGAP, CLIRSEN (actualmente IEE). En el anexo 1 se muestra las definiciones para todas las clases de la leyenda.

Tabla 1. Leyenda de cobertura y uso de la tierra

NIVEL1	NIVEL2
BOSQUE	BOSQUE NATIVO
	PLANTACION FORESTAL
TIERRA AGROPECUARIA	CULTIVO ANUAL
	CULTIVO SEMIPERMANENTE
	CULTIVO PERMANENTE
	PASTIZAL
	MOSAICO AGROPECUARIO
VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA	VEGETACION ARBUSTIVA
	VEGETACION HERBACEA
	PARAMO

CUERPO DE AGUA	NATURAL
	ARTIFICIAL
ZONA ANTROPICA	AREA POBLADA
	INFRAESTRUCTURA
OTRAS TIERRAS	AREA SIN COBERTURA VEGETAL
	GLACIAR
SIN INFORMACION	SIN INFORMACION

La deforestación se define como un proceso de conversión antrópica del bosque en otra cobertura y uso de la tierra; bajo los umbrales de altura, cobertura del dosel o áreas establecidas en la definición de bosque. No se considera deforestación a las zonas de plantaciones forestales removidas como resultado de cosecha o tala y donde se espera que el bosque se regenere naturalmente o con la ayuda de prácticas silviculturales.

2.2. Resolución espacial y selección de sensores

El monitoreo de deforestación a nivel nacional se basa en la utilización de imágenes satelitales del sensor Landsat, que tiene una resolución espacial de 30 metros, una resolución temporal de 16 días y son de libre acceso, todas estas características permiten la sostenibilidad del monitoreo de la deforestación. Este sensor además es válido bajo los requerimientos de REDD+ para la determinación de la extensión y cuantificación de los datos de la actividad (“activity data”) como uno de los elementos necesarios para determinar las emisiones de carbono, las mismas que son causadas por los cambios de cobertura y uso sobre el bosque.

A partir del año 2013 se utilizan las imágenes satelitales Landsat 8 OLI con un nivel de procesamiento L1T, sin ninguna corrección radiométrica; las cuales son descargadas de la plataforma web del USGS a través de las direcciones: <http://glovis.usgs.gov/>, <http://earthexplorer.usgs.gov/> o <https://espa.cr.usgs.gov>.

2.3. Selección y recopilación de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales recopiladas corresponden al periodo de enero a diciembre del año de análisis y para completar vacíos de información por la presencia de nubes se recopila imágenes del periodo comprendido entre julio a diciembre del año anterior al análisis, por ejemplo, para el año 2016 es necesario utilizar todas las imágenes satelitales disponibles

para ese año e imágenes desde Julio 2015 con el propósito de disminuir las zonas sin información.

2.4. Estructuración de datos y procesos

La estructuración de datos y procesos tiene como objetivo generar un respaldo de todos los procedimientos realizados, desde la recopilación de insumos hasta obtener el resultado final, de manera que se pueda replicar la metodología y generar resultados transparentes, completos y consistentes, requisitos necesarios dentro de un proceso de MRV.

El sistema de almacenamiento se realiza mediante una estructura jerárquica organizada, en la cual el nivel superior corresponde al año de referencia correspondiente a los mapas de CUT, el mismo que se divide en carpetas de acuerdo al tipo de datos, como: geoinformación, comunicación visual, documentos e informes. La descripción detallada del sistema de almacenamiento se muestra en el Anexo 2.

2.5. Actualización del protocolo

El protocolo metodológico no persigue ser un procedimiento cerrado, al contrario se espera que sea abierto y tenga una dinámica de actualización permanente conforme a la disponibilidad de insumos de información, hardware, software y metodologías. Por ejemplo, la incorporación no solo de sensores ópticos sino de imágenes radar (debido a la nubosidad permanente existente en nuestro país) constituye unas de las futuras incorporaciones en lo que corresponde a los insumos de información requeridos para cuantificar la deforestación. Esto en lo posterior significará hacer una actualización a los procedimientos establecidos en este protocolo.

3. PRE – PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES SATELITALES

Los procedimientos de pre – procesamiento permiten corregir problemas geométricos y espectrales de las imágenes generados generadas por diversas fuentes tales como distorsiones originadas por la plataforma satelital, el sistema de registro de datos del sensor, la rotación terrestre y la influencia de la atmósfera (Chuvieco, 2007). El pre – procesamiento incluye correcciones geométricas y radiométricas. A continuación se describen estos procesos, el paso previo de recopilación y almacenamiento de las imágenes satelitales.

3.1. Descarga y preparación de imágenes satelitales

El primer paso antes de realizar el pre-procesamiento es organizar y preparar las imágenes satelitales descargadas de la plataforma web del USGS, para lo cual se emplea un script desarrollado con el apoyo de FAO a través del Targeted Support, el script funciona en el sistema operativo Ubuntu y emplea herramientas de Open Foris Geospatial Toolkit. El script permite realizar los siguientes procedimientos:

- Descomprimir las imágenes Landsat 8 OLI en sus correspondientes bandas.
- Crear una estructura organizada de información por cada path-row.
- Generar el layer stack de cada imagen satelital.
- Proyectar las imágenes satelitales al sistema de referencia WGS84-UTM 17 Sur.
- Crear una máscara de información en función de la banda QA de Landsat.

El funcionamiento del script se detalla en el Anexo 3. Automatización del pre-procesamiento de imágenes satelitales.

3.2. Correcciones geométricas

Las correcciones geométricas implican el cambio en la posición de los píxeles de la imagen satelital de forma que la información de la imagen quede correctamente referenciada a un sistema de coordenadas proyectado. De forma similar, se aplican correcciones geométricas para referenciar una imagen no corregida a una corregida. Esto permite integrar y comparar la información temática de cobertura y uso de la tierra derivada de imágenes satelitales de distintas fechas para una misma área geográfica.

En una primera etapa, se corrigen errores sistemáticos provenientes de las características orbitales del satélite y de la curvatura y rotación de la tierra. Las imágenes Landsat fueron adquiridas en niveles de procesamiento L1T, que incluyen esta corrección geométrica.

Para lograr una mayor exactitud geométrica en los productos generados para el cálculo de la deforestación, se revisa la geometría de las imágenes adquiridas, comparándolas con las imágenes históricas de la misma zona, para lo cual se utilizan puntos identificables en las dos imágenes que no debieron cambiar con el tiempo. Si se determina que existe un desplazamiento entre las imágenes, se realiza una registración relativa de la nueva imagen respecto a la imagen de referencia. El procedimiento que se emplea para el proceso de corrección se presenta en el Anexo 4.

3.3. Correcciones radiométricas

Las correcciones radiométricas permiten compensar el efecto de factores ambientales (p.ej. factores atmosféricos) para obtener variables físicas tales como la reflectividad.

En la presente metodología no se realizan correcciones radiométricas de las imágenes, considerando que se está utilizando un método de detección de cambios post – clasificación. En este método las imágenes para cada año de referencia se clasifican de forma separada y la determinación de áreas de cambio en la cobertura boscosa se realiza comparando los mapas de uso y cobertura de la tierra resultante. En esta estrategia de detección de cambios no es indispensable realizar una corrección radiométrica, a diferencia de cuando se realiza una clasificación directa de cambios sobre imágenes multi-temporales, donde las diferencias en las condiciones atmosféricas pueden afectar la detección de cambios.

SCAC:

- Los protocolos de corregistro establecidos describen procedimientos de documentación del número y distribución de los puntos de control utilizados.

4. GENERACIÓN DE MAPAS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

Los mapas de CUT son realizados de manera independiente para cada año de referencia a partir de la clasificación de imágenes satelitales, estos mapas permiten caracterizar de forma espacialmente explícita las trayectorias de CCUT y obtener las métricas de deforestación, este proceso se denomina detección de cambios post – clasificación.

A continuación se describe el proceso para la obtención de los mapas de CUT mediante la clasificación de imágenes satelitales e información de campo en base a la leyenda temática propuesta.

4.1. Clasificación de imágenes satelitales

La clasificación se realiza de forma independiente para cada imagen satelital empleando un método supervisado, el cual requiere del conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por la realización de un trabajo de campo, es decir, que el intérprete debe tener una gran familiaridad con el área de interés, para poder interpretar y delimitar sobre la imagen, áreas suficientemente representativas, denominadas ROI, de cada una de las categorías representadas y que forman parte de la leyenda (Chuvieco, 2010).

A partir de las ROI creadas por el intérprete se entrena un algoritmo que permite clasificar toda la imagen satelital, este es posteriormente depurado mediante filtros que permiten eliminar los píxeles aislados y finalmente se obtiene un archivo de clasificación por cada imagen satelital. El proceso completo se describe en el Anexo 5.

4.2. Trabajo de campo

De forma paralela al proceso de clasificación se implementa un protocolo para recopilar información en campo, que permitan a los intérpretes adquirir experiencia para vincular las clases temáticas generadas en el laboratorio con las clases de cobertura y uso de la tierra en el campo. El protocolo detallado para recopilar información de puntos en campo consta en el Anexo 6. Se incluyen procedimientos para recopilar información para dos tipos de puntos de campo:

- Los puntos de calibración son ocupados físicamente por el equipo de campo. Se recoge información sobre cobertura / uso de la tierra de acuerdo a la leyenda temática utilizada y además datos sobre cobertura y altura del dosel (en el caso de coberturas de bosque). Adicionalmente se registra la posición del punto y se toman cuatro fotos para futura referencia.
- Los puntos de referencia corresponden a información de sitios que no han sido ocupados físicamente por falta de accesibilidad. Se toma una foto del sitio de interés y se registran

las coordenadas del punto desde el cual se tomó la foto e información sobre uso y cobertura de la tierra.

El diseño experimental para definir el número y ubicación de los puntos de calibración y referencia toma en cuenta principalmente la necesidad de visitar áreas donde el equipo de intérpretes necesiten definir patrones de cobertura y uso de la tierra poco conocidos o muy complejos, dando prioridad a las zonas con mayor facilidad de acceso. Con propósitos de validación de mapas de cobertura y uso de la tierra, se ha sugerido como regla general coleccionar un mínimo de 50 muestras por cada clase representada (Congalton & Green 2008). En el presente protocolo, se plantea un número mínimo de 30 puntos para optimizar los recursos disponibles.

SCAC:

- La información recogida en campo asociada con los puntos de calibración y referencia se sistematiza en una base de datos (Anexo 2) para facilitar su consulta y verificación futura.

4.3. Generación de mosaicos de las clasificaciones

Como resultado del proceso de clasificación supervisada (descrito en la sección 4.1) se obtiene un archivo único por cada imagen satelital que contiene las clases definidas en la leyenda temática. Para completar la información del territorio continental se requiere realizar la clasificación de imágenes satelitales de varios path-row, adicionalmente se clasifican varias imágenes de una misma zona, para llenar los vacíos de información debido a la presencia de nubes.

Una vez que se realiza la clasificación de todas las imágenes satelitales de la zona de estudio es necesario realizar un mosaico de los archivos clasificados, con la finalidad de tener un archivo único con la menor cantidad de zonas sin información, que pueda ser editado en el paso siguiente. En la generación de los mosaicos se da prioridad a las clasificaciones de las imágenes más cercanas a la fecha de referencia del mapa.

Como producto de este procedimiento se deben generar dos archivos en formato raster, el primero corresponde a la cobertura de la tierra y el segundo a los códigos de las imágenes empleadas, este último sirve como respaldo de los insumos que se emplearon para la realización del mapa. El proceso completo se describe en el Anexo 7.

4.4. Edición visual

La clasificación supervisada requiere ser revisada y editada visualmente para resolver problemas de mezcla espectral o mezcla entre clases temáticas y obtener un mapa preliminar. El proceso de edición visual se basa en la habilidad que presentan los humanos para relacionar tonos, colores y patrones espaciales que aparecen en una imagen con elementos del mundo real. El intérprete examina cada elemento de la imagen en tres sentidos: separadamente, en relación con otro elemento, y en relación con todo el patrón de la imagen (García, 2007).

Para realizar la edición visual, previamente se combina el mosaico de las clasificaciones resultado del proceso descrito en la sección 4.3 con el mapa de CUT con el cual se quiere calcular la deforestación. Este proceso se realiza en formato raster, para facilitar el tiempo de procesamiento y en el paso final se transforma un shapefile que puede ser editado. El objetivo de combinar espacialmente los mapas de dos fechas, es tener la información de los dos años en un mismo archivo editable y revisar las áreas de cambio, ya que uno de los objetivos es calcular la tasa de deforestación en un periodo. La descripción detallada de este proceso se describe en la sección 6 del Anexo 7.

La edición visual se realiza con las imágenes satelitales Landsat que se emplearon en el proceso de clasificación, es importante que este proceso sea realizado por intérpretes que tengan experiencia en el manejo de imágenes satelitales y que conozcan la región geográfica en donde se esté trabajando. Además se sugiere emplear información adicional que faciliten el proceso de edición como: puntos de campo, imágenes de mayor resolución e información secundaria. El proceso de edición visual se describe en el Anexo 8.

4.5. Revisión de las trayectorias de cambio de cobertura

Como paso previo al cálculo de la deforestación se evalúa las trayectorias de CCUT entre los dos años que corresponden al periodo de análisis de la deforestación, como parte del SCAC, para lo cual se combinan espacialmente el Mapa de CUT editado y el mapa CUT del año inicial del periodo de análisis. En este proceso se revisa si las trayectorias de cambio son coherentes, por ejemplo las zonas antrópicas del año inicial no podrían convertirse en un bosque o tierra agropecuaria en el siguiente año. Estos cambios pueden producirse por un error en la edición visual o por la forma diferente de los segmentos entre los mapas del periodo. Una vez identificados los cambios inconsistentes se corrige el mapa de cobertura, obteniendo de esta forma el mapa de CUT definitivo. El proceso completo se describe en el Anexo 8.

SCAC:

- Al finalizar el proceso de edición visual los archivos son revisados por un intérprete independiente con experiencia en la interpretación de imágenes y conocimiento de las coberturas presentes en el Ecuador, con lo cual se identifican errores para su posterior corrección.
- La caracterización de trayectorias de CCUT permite evaluar la consistencia temática de los mapas producidos. Por ejemplo, es necesario verificar áreas donde han existido trayectorias del tipo zona antrópica – bosque para comprobar que dichos cambios no son producto de inconsistencias en la representación de las clases.

5. CÁLCULO DE LAS TASAS DE DEFORESTACIÓN

Para el cálculo de la deforestación se combinan los mapas de CUT de los dos años del periodo en análisis, como resultado se obtienen un mapa que identifica de forma espacial los cambios de cobertura. A partir del mapa de CCUT se genera una matriz de transición (Figura 2), la cual es una de las formas de reporte recomendadas por la guía de buenas prácticas generadas por el IPCC (2006).

Figura 2. Ejemplo genérico de una matriz de transición para el reporte de CCUT con cuatro clases hipotéticas.

Final	Inicial				Area final
	A	B	C	D	
A	a1	a6			Sum Af
B	a2	a5			Sum Bf
C	a3	a7	a8		Sum Cf
D	a4		a9	a10	Sum Df
Area inicial	Sum Ao	Sum Bo	Sum Co	Sum Do	
Cambio neto	Sum Ao - Sum Af	Sum Bo - Sum Bf	Sum Co - Sum Cf	Sum Do - Sum Df	

*Los subíndices f y o indican el área final e inicial, respectivamente.

En base a los datos de la matriz de transición se calculan los siguientes indicadores que reflejan las transiciones de bosque:

- *Deforestación bruta anual promedio:* para su cálculo se suman todas las áreas de bosque nativo presentes en el año inicial que cambiaron a otra cobertura de la tierra en el año final y se divide para el número de años del periodo. El resultado se expresa en hectáreas/año.
- *Regeneración anual promedio:* para el cálculo del indicador se suman todas las áreas que tenían diferentes coberturas de la tierra en el año inicial y cambiaron a bosque nativo en el año final. El resultado se obtiene en hectáreas/año.
- *Deforestación neta anual promedio:* es la diferencia entre la pérdida y ganancia de la superficie del bosque en un periodo de tiempo. El indicador se obtiene restando la deforestación bruta menos la regeneración, obteniendo el resultado en hectáreas/año. Para expresar el indicador como una tasa porcentual se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{1/(t_2 - t_1)} \quad \text{Eq1}$$

Donde A2 y A1 son las áreas de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1), respectivamente. (Puyravaud, 2003)

6. EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN

La metodología empleada sigue las recomendaciones del documento Making Better Use of Accuracy Data in Land Change Studies: Estimating Accuracy and Area and Quantifying Uncertainty Using Stratified Estimation. (Olofsson et al, 2013). La metodología emplea un muestreo aleatorio estratificado, además el informe de análisis permite obtener resultados relacionados con: precisión total, precisión del usuario (error comisión), precisión del productor (error omisión), intervalo de confianza y área de cada clase, con la finalidad de demostrar transparencia de los mapas de CUT y de los mapas de CCUT de las transiciones de bosque, información que es utilizada para el reporte de datos de actividad en informes como el nivel de referencia de emisiones por deforestación.

6.1. Evaluación de la precisión de los mapas de cobertura y uso de la tierra

Para transparentar la validez y transparencia de los mapas de CUT se realizó la evaluación de la precisión en base a la metodología planteada por Olofsson, 2013.

Se emplea un diseño aleatorio estratificado, con la finalidad de evaluar las áreas de interés y asegurar la estimación de precisión por cada una de las clases a nivel 1 de la leyenda (tabla 1, sección 2). El tamaño de muestreo depende de la información sobre precisión, área, y rangos de error deseables que se define a priori usando teoría estadística estándar. Y la cantidad de puntos depende del área de cada clase, fijando además un tamaño mínimo de la muestra.

Los puntos generados por cada clase del mapa según el diseño de muestreo son evaluados por intérpretes independientes, para formar las matrices de confusión y obtener la precisión de cada una de las 6 clases de la leyenda, además de la precisión total y las áreas de ajuste.

El proceso detallado se muestra en el Anexo 10.

6.2. Evaluación de la precisión del cambio de cobertura de las transiciones de bosque

Además con el objetivo de calcular la precisión de cada uno de los cambios referentes a las transiciones de bosque se realizó la evaluación de la precisión para las siguientes clases de cambios: bosque estable, no bosque estable, deforestación y regeneración. Se emplea el diseño de muestreo descrito en la sección anterior considerando el área de las 4 clases de cambio. El proceso detallado se muestra en el Anexo 11.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La presente metodología describe un conjunto de procedimientos para generar información de trayectorias de CCUT cambio de cobertura y uso de la tierra a nivel nacional de forma sistemática. La metodología contiene procedimientos específicos de documentación de procesos y manejo de información que facilitan la validación externa de los resultados.
- La metodología empleada para la generación de mapas de deforestación se encuentra documentada y es totalmente replicable, esta es una de la fortalezas para todo sistema de monitoreo, ya que permite obtener datos comparables, que además permitirán el reporte de actividades de reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+) de una forma consistente y transparente.
- El protocolo metodológico forma parte de un proceso de mejora continua, que permite optimizar la implementación de procedimientos e incluir nueva información. En este contexto se analiza la posibilidad de incluir procesos de mejora como la automatización de procesos y la detección directa de cambios en imágenes multi-temporales.
- Se recomienda evaluar la aplicación de sensores activos como imágenes radar en los sitios que presentan zonas sin información por la presencia de nubes, analizando los efectos de la topografía y el contenido temático de los productos resultantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E. (2007). Páginas 12-13 en: Protocolo metodológico para la generación del Mapa de Deforestación Histórica en el Ecuador Continental. Socio Bosque. Quito.
- Chuvieco, E. (2010), *Teledetección Ambiental*, Barcelona, España: Editorial Ariel.
- Congalton R, Green K. 2008. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Second ed. Hoboken: CRC. 183 p
- García, E. (2007). Módulo VII: Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Análisis Visual de Imágenes. Departamento de Geología - Universidad de León.
- IPCC (2003). Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Suiza
- IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Recuperado de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>
- MAE. (2010). Protocolo metodológico para la generación del Mapa de Deforestación Histórica en el Ecuador Continental. Programa Sociobosque. Quito
- MAE. (2014). Actualización del protocolo metodológico para la generación del Mapa Histórico de Deforestación del Ecuador Continental
- MAE-MAGAP (2015) Generación del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental año 2013-2014. Escala 1:100000. Quito.
- MAE. (2016). Análisis de la deforestación en el Ecuador Continental 1990 - 2014. Quito - Ecuador
- Olofsson, P. et al. (2013). Making Better Use of Accuracy Data in Land Change Studies: Estimating Accuracy and Area and Quantifying Uncertainty Using Stratified Estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129(15):122-131.
- Puyravaud J., (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*. 177 (2003) 593-596.