

Memoria Técnica

Cuantificación de la Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque a no Bosque de la Amazonía Peruana

Periodo 2000 - 2005 - 2009



Centro de Documentación Ambiental - Catalogación de la fuente

333.75

P45

Perú. Ministerio del Ambiente

Memoria técnica: Cuantificación de la Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque a no Bosque de la Amazonía Peruana. Periodo 2000-2005-2009

Dirección General de Ordenamiento Territorial - Lima: Ministerio del Ambiente, 2014.

36 p.: il. tab.

BOSQUE 2. COBERTURA VEGETAL. 3. PERÚ I. Perú. Ministerio del Ambiente.

Dirección General de Ordenamiento Territorial. II. Título.

CDD 333.75 P45

CUANTIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE BOSQUE Y CAMBIO DE BOSQUE
A NO BOSQUE DE LA AMAZONÍA PERUANA. PERIODO 2000-2005-2009

Ministerio del Ambiente

Av. Javier Prado Oeste N° 1440

San Isidro, Lima-PERÚ

Primera Edición - Febrero 2014

Tiraje: 1000 ejemplares

Fotografías: Archivos MINAN

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014 - 02641

Diseño e impreso por: Burcon Impresores y Derivados SAC

Calle Bernardo Alcedo 549 - Lince / Telf.: 470 0123

gerencia@burconsac.com

La presente publicación fue elaborada con materiales 100% reciclados.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Memoria Técnica

Cuantificación de la Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque a no Bosque de la Amazonía Peruana

Periodo 2000 - 2005 - 2009

MANUEL GERARDO PULGAR-VIDAL OTÁIORA

Ministro del Ambiente

GABRIEL QUIJANDRIA ACOSTA

Viceministro de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

ADRIAN FERNANDO NEYRA PALOMINO

Director General de Ordenamiento Territorial

Dirección General de Ordenamiento Territorial

- William Llactayo León *Especialista SIG, Responsable Técnico*
- Eloy Victoria Ayala *Especialista SIG, Análisis de Sensores Remotos*
- Germán Marchand Laynes *Especialista SIG, Análisis de Sensores Remotos*
- Alex Montero Pérez *Especialista SIG, Base de Datos y Programación*
- Witman García Correa *Especialista SIG*
- Kelly Salcedo Padilla *Especialista SIG, Procesamiento de imágenes*

Colaboración de las Direcciones Generales

- Daniel Matos *Especialista de DGEVFPN*
- Laura Secada *Especialista Proyecto REDD DGCCRH*
- Natalia Málaga *Especialista Proyecto REDD DGCCRH*
- Keneth Peralta *Especialista de DGCCRH*
- Gustavo Huamaní *Especialista de PNCB*

Asesoramiento Técnico-Científico

- Instituto CARNEGIE para la Ciencia *Departamento de Ecología Global*
- Gregory P. Asner *Investigador Principal*
- Jonh K. Clark *Coordinador de Convenio CARNEGIE-MINAM*
- S.R. Aravindh Balaji *Líder de Programación*

Cita sugerida:

Llactayo, W; Salcedo, K; Victoria, E. 2013. Memoria Técnica de la Cuantificación de la Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque a no Bosque de la Amazonia Peruana Período 2000-2005-2009. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima - Perú.

| | Pág. |
|---|-----------|
| 1. ANTECEDENTES | 9 |
| 2. MARCO NORMATIVO Y MONTO DE INVERSIÓN DE LAS ACCIONES REALIZADAS..... | 11 |
| 2.1 Marco normativo de las acciones realizadas..... | 11 |
| 2.2 Monto de inversión realizado por la DGOT para el desarrollo de un sistema de información geográfica para el ordenamiento territorial y monitoreo | 12 |
| 3. DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS | 13 |
| 3.1 Definición conceptual del bosque | 13 |
| 3.2 Definición operativa del bosque..... | 13 |
| 3.3 Definición conceptual de deforestación | 13 |
| 3.4 Definición operativa de deforestación | 14 |
| 3.5 Definición conceptual de degradación | 14 |
| 3.6 Definición operativa de degradación..... | 14 |
| 4. MÉTODO DE ANÁLISIS | 15 |
| 5. RESULTADO DEL ANÁLISIS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE BOSQUE Y CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE DE LA AMAZONÍA PERUANA, PERIODO 2000-2005-2009 | 18 |
| 6. VALIDACIÓN DEL ANÁLISIS DE COBERTURA DE BOSQUE Y CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE..... | 22 |
| RESULTADOS..... | 24 |
| 7. MONITOREO TERRITORIAL DEL PERÚ A TRAVÉS DE OBSERVATORIO AÉREO DE CARNEGIE - CAO..... | 25 |
| REFERENCIAS..... | 26 |

ANEXOS

| | |
|--|-----------|
| Anexo 1. Resultados detallados del proceso de los datos de campo para la validación | 29 |
| Anexo 2. Aspectos a tener en cuenta para la descripción del metodo aplicado por MINAM para el análisis de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque con sensores remotos | 30 |
| Anexo 3. Alcances del mapa de cobertura de boque y deforestación como referente e instrumento para la gestión territorial | 33 |
| Anexo 4. Marco normativo..... | 34 |

1. ANTECEDENTES

En mayo del 2009, el Ministerio del Ambiente solicita al instituto Carnegie la realización de un estudio piloto para la aplicación de la tecnología de sensores remotos en la evaluación del contenido o stocks de carbono en la región de Madre de Dios; solicitud realizada en virtud del interés de trabajar conjuntamente en la zona priorizada por el Ministerio del Ambiente como área ambientalmente crítica afectada por la deforestación y la minería informal; teniendo en consideración la aplicación de imágenes multiespectrales, LiDAR y software; y de fortalecer las capacidades de los especialistas en sistemas de información geográfica y teledetección espacial de la Dirección General de Ordenamiento Territorial, teniendo como función la administración del SIGMINAM y de realizar estudios especializados.

Con el fin de realizar el piloto en Madre de Dios, entre agosto a octubre del 2009 se realizaron las operaciones aéreas con el Observatorio Aéreo de Carnegie - CAO, sobrevolando el ámbito del departamento, contando con la participación de los especialistas de la Dirección General de Ordenamiento Territorial.

Desde finales del año 2009, a través del Convenio de Colaboración Interinstitucional entre el Ministerio del Ambiente y el Instituto CARNEGIE para la Ciencia del Departamento de Ecología Global¹, los equipos técnicos de la Dirección General de Ordenamiento Territorial y del Departamento de Ecología Global de CARNEGIE, desarrollaron actividades técnicas y de fortalecimiento de capacidades para contar con los fundamentos técnicos y metodológicos que sustenten el Monitoreo de la Cobertura de Bosques, Deforestación y Degradación Forestal. En el marco de esta colaboración se desarrolló

una primera etapa de trabajo con el análisis para el periodo 2000-2005-2009, que represento un proceso de aprendizaje y adaptación que comprendió el mejoramiento del sistema de análisis de imágenes (CLASlite 2.3) y su adaptación a las condiciones de la Amazonía, el desarrollo de protocolos de clasificación y validación, así como el empleo de las campañas de sobre vuelos del Observatorio Aéreo de Carnegie (CAO) que apoyó enormemente en la validación de los resultados.

Una segunda etapa, motivo del presente documento, comprendió la generación de información sobre la cuantificación de los cambios de la cobertura de bosque, deforestación y degradación de la Amazonía Peruana para el periodo 2009-2010-2011, que ha sido posible gracias a la aplicación de una herramienta de análisis más robusta y precisa como CLASlite 3.0 (Asner et. al, 2009)², la selección e integración de un número considerable de imágenes LANDSAT y MODIS para la obtención de mosaicos casi libres de nubes; así como, la incorporación de procedimientos de auditoría de procesamiento de imágenes para mejorar el nivel de confianza en los resultados. CLASlite 3.0 es un software de base satelital desarrollado por Carnegie para el análisis de la cobertura, deforestación y degradación del bosque, el cual de manera continua y colaborativa ha sido desarrollado junto con MINAM para su mejor adaptación a la realidad del Perú.

El MINAM a través de la Dirección General de Ordenamiento Territorial (DGOT) ha previsto un trabajo continuo de análisis para el monitoreo y reporte anual sobre las dinámicas de cambio de la cobertura del bosque de la Amazonía Peruana, teniendo en consideración el

1. El Convenio MINAM-CARNEGIE fue firmado el 28 de Noviembre del 2009 con el objetivo de realizar tareas de investigación y aplicación de tecnologías de sistemas de información geográfica y teledetección espacial en favor del estudio de la situación territorial y los procesos de ordenamiento territorial en el país.
2. Asner, G.P., D.E. Knapp, A. Balaji, and G. Paez-Acosta. 2009. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing* 3:033543. CLASlite ha sido proporcionado por el Equipo CLASlite del Departamento de Ecología Global de la Institución Carnegie para la Ciencia. CLASlite ha sido posible gracias al soporte de la Fundación Gordon y Betty Moore, la Fundación John D. y Catherine T. MacArthur y el fondo de la Institución Carnegie para la Ciencia.

CUADRO 1: Diseño preliminar del Sistema de Información Territorial para el Monitoreo de los Cambios de la Cobertura y uso de la Tierra, Deforestación y Degradación Forestal.

| Nivel | Escala | Sensor | Recurrencia | Objetivo | Ámbito Acción | Productos | Actores/Beneficiarios (Según PLANAA) |
|---------------------------------|--------|---|--------------------------------|--|--------------------------|---|---|
| Alerta Temprana | Macro | MODIS | Semestre, trimestre; o mensual | Generar alertas sobre los cambios de cobertura en tiempo casi real | Nacional | Puntos de cambio. Puntos de fuego. Índices de Vegetación. Series históricas. Mapas, Estadísticas Imágenes. | MINAM, MINAG GR, SERNANP COFOPRI, GL, PCM, PNP, OEFA, OSINFOR, SUNARP, Sociedad Civil |
| Cuantificación Resolución Media | Meso | LANDSAT SPOT ASTER ALI | Anual | Cuantificar los cambios en la cobertura de la tierra y la deforestación | Nacional/ Subnacional | Cuantificación de la deforestación y degradación. Mapas de Cobertura y Uso de la Tierra. Mapa de cobertura de bosque, deforestación y degradación. Estadísticas nacionales y por regiones. Imágenes | |
| Cuantificación Resolución Alta | Micro | ALOS Rapideye Geoeye Ikonos Quickbird Worldview otros | Anual | Cuantificar los cambios en la cobertura de la tierra y la deforestación en ámbitos priorizados | Áreas priorizadas | Cuantificación de la deforestación por ámbitos prioritarios (CCNN, CCCC, ANPs, etc). Mapas. Imágenes | |

Fuente: Elaboración propia.

trabajo conjunto con los equipos técnicos regionales en un marco de colaboración y fortalecimiento de capacidades para el ordenamiento territorial; así como otros procesos en marcha. En este sentido, MINAM viene trabajando en la conformación de un Sistema de Información Territorial para el Monitoreo³ basado en el análisis para diferentes niveles de aproximación, tal como

se presenta en el Cuadro N°01. Dichos niveles constituyen el aspecto operativo del sistema; sin embargo, el sistema demandará de la incorporación de la actuación de diferentes actores, definición de indicadores, productos, protocolos estandarizados, mecanismos de reporte para el análisis y toma de decisiones, aspectos que se vienen coordinando desde el MINAM.

3. El Sistema de Información Territorial para el Monitoreo de la Cobertura de la Tierra, Deforestación y Degradación Forestal prevé 03 niveles de aproximación: El primero, de Alerta Temprana con reportes mensuales a través de imágenes MODIS; el segundo, de Cuantificación de Resolución Media con reportes Anuales a través del análisis de imágenes Landsat, Spot, o Aster, en donde interviene la aplicación de CLASlite; y el tercero, de Cuantificación de Resolución Alta, para áreas específicas de interés. En todos los casos se contempla la validación, ya sea mediante el uso de imágenes de alta resolución y trabajo de campo.

2. MARCO NORMATIVO Y MONTO DE INVERSIÓN DE LAS ACCIONES REALIZADAS

2.1 MARCO NORMATIVO DE LAS ACCIONES REALIZADAS

Las actividades realizadas por la Dirección General de Ordenamiento Territorial, en relación al análisis territorial sobre cobertura de bosques y deforestación son consistentes y concordantes con el siguiente marco normativo:

- Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señala como una de sus funciones específicas “Establecer las política, los criterios, las herramientas y los procedimientos de carácter general para el ordenamiento territorial nacional, en coordinación con las entidades correspondientes, y conducir su proceso”.
- El D.S. 007-2008-MINAM (Art. 37, inciso b), señala que la Dirección General de Ordenamiento Territorial conduce, promueve, asesora y avalúa los procesos de ordenamiento territorial, a nivel nacional, en el contexto del desarrollo sostenible, supervisando que se sustenten en la normatividad y de conformidad con los instrumentos técnicos aprobados para estos procesos.
- El D.S. 007-2008-MINAM (Art. 37, inciso c), señala que la Dirección General de Ordenamiento Territorial es la dirección encargada de conducir y dirigir la ZEE, así como la elaboración de estudios especializados.
- El D.S. 007-2008-MINAM (Art. 37, inciso f), señala que la Dirección General de Ordenamiento Territorial es la encargada de administrar, organizar y actualizar el Sistema de Información Geográfica del Ministerio para proveer información técnica especializada que contribuya a la toma de decisiones en coordinación con los viceministerios, direcciones de línea e instituciones adscritas, entre otras, suministrando información al SINIA.
- DCD-010-2006-CONAM, normativa metodológica que señala como insumos para la elaboración de la propuesta de ZEE los estudios y mapas de deforestación, cobertura de la tierra, uso actual y vegetación.
- La Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM, que aprueba la Guía Metodológica para la elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios (ZEE, EE, DIT y POT) para el Ordenamiento Territorial, definiendo estos instrumentos y estableciendo los procedimientos para su validación, previo a su aprobación. Esto comprende el estudio especializado de Análisis de los Cambios de la Cobertura y uso de la tierra.

2.2 MONTO DE INVERSIÓN REALIZADO POR LA DGOT PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MONITOREO

El monto total que la DGOT ha destinado en acciones relacionadas con la implementación del sistema de información territorial para el monitoreo desde el 2009 al 2012 según los Planes Operativos (POI) fue de 7.6 millones de soles equivalente a 3.3 millones de dólares, esto comprendió la adquisición de imágenes, la participación del personal especializado, contrapartidas de convenios, capacitación y las propias actividades destinadas a las metas productos definidas en el POI que contribuyen a la generación de las capacidades sobre el sistema.

Asimismo, la cooperación internacional que ha sido canalizada para fortalecer las actividades de monitoreo y que recaen expresamente en el trabajo de la DGOT en los temas correspondientes a sistemas de información para el monitoreo alcanzó aproximadamente los 5,2 millones de dólares; en total los esfuerzos de la entidad sumado al apoyo internacional es de 8.5 millones de dólares.

MINAM - DGOT (Componente de Sistemas de Información y Monitoreo)

| Descripción | US\$ |
|-------------|--------------|
| POI 2009 | 46,296.00 |
| POI 2010 | 400,630.00 |
| POI 2011 | 2,384,340.00 |
| POI 2012 | 500,000.00 |
| TOTAL | 3,331,266.00 |

COOPERACIÓN INTERNACIONAL (Fortalecimiento de Capacidades para el Monitoreo)

| Descripción | US\$ |
|-------------|--------------|
| HATOYAMA | 5,000,000.00 |
| CAN-AECI | 140,000.00 |
| GEOSUR | 55,000.00 |
| TOTAL | 5,195,000.00 |

3. DEFINICIONES CONCEPTUALES Y OPERATIVAS

3.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DEL BOSQUE

Según la FAO, Tierras que se extienden por más de 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 mt. y una cubierta de copas superior al 10%, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano. (FAO, 2005)

Según CNUCC, bosque es la superficie mínima de tierras de entre 0,05 y 1,0 hectáreas (ha) con una cubierta de copa (o una densidad de población equivalente) que excede del 10 al 30% y con árboles que pueden alcanzar

una altura mínima de entre 2 y 5 metros (m) a su madurez in situ. (CNUCC, 2002)

Según reunión MINAM, Ecosistema natural complejo de seres vivos, microorganismos, vegetales y animales, que se influyen y relacionan al mismo tiempo y se subordinan al ambiente dominante de los árboles; que se extiende por más de 0.5 has dotadas de árboles de una altura superior a 2 metros o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ, y una cubierta superior al 10%. (MINAM, 2012).

3.2 DEFINICIÓN OPERATIVA DEL BOSQUE

La cobertura de Bosque/No Bosque se define por el porcentaje de Vegetación Fotosintética (VF), y Suelo (S) a nivel de pixel (0.09 has con LANDSAT) que puede ser extraído de las Imágenes satelitales y clasificado según un umbral determinado.

$VF \geq 80$ y $S < (\text{umbral } \sim 15\%-20\%)$

3.3 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE DEFORESTACIÓN

Según FAO, Transformación del bosque en otro uso de la tierra o reducción de la cubierta de copa por debajo del umbral mínimo del 10%. (FAO, 2005)

Según CNUCC, Conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierras no forestales. (CNUCC, 2002)

Según reunión en la región de Iquitos, Cambio de bosque a no bosque producto de la actividad humana y medido por la reducción de la cubierta de copa. (Iquitos, 2012)

3.4 DEFINICIÓN OPERATIVA DE DEFORESTACIÓN

Detección del cambio de las porcentajes de VF, VNF y S a nivel de pixel (0.09 has con LANDSAT a través del tiempo). El análisis de múltiples imágenes permite la detección de pérdida de la cobertura boscosa (deforestación y cambios naturales), aumento (crecimiento secundario) o degradación (áreas de perturbación forestal).

$((VF0 - VF1) \geq 25) \text{ OR } ((S0 \leq 5) \text{ AND } ((S1 - S0) \geq 15))$
 $\text{OR } ((VF1 < 80) \text{ AND } ((VNF1 - VNF0) \geq 20))$

3.5 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE DEGRADACIÓN

Según FAO, Son cambios dentro del bosque que afectan negativamente la estructura o función del rodal o sitio y, por lo tanto, disminuyen la capacidad de suministrar productos y/o servicios.

3.6 DEFINICIÓN OPERATIVA DE DEGRADACIÓN

Degradación (en términos de perturbación):

Detección del cambio debido a la alteración del bosque y que se traduce por variaciones principalmente de la vegetación no fotosintética y suelo.

$((((VNF1 - VNF0) \geq 10) \text{ AND } (VF0 - VF1) > 10)) \text{ OR } ((S0 \leq 5) \text{ AND } ((S1 - S0) > 10) \text{ AND } (S1 \leq 15)))$

4. MÉTODO DE ANÁLISIS

El análisis de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque se aplicó sobre una superficie de 78'469,220 has, que corresponde al ámbito de la Amazonía Peruana⁴, cubierto por 42 imágenes del satélite Landsat TM5 para cada uno de los años 2000, 2005 y 2009 (Figura 1). Las imágenes satelitales pasan por un proceso de análisis con la ayuda de la herramienta CLASlite que comprende los siguientes pasos (Figura 2):

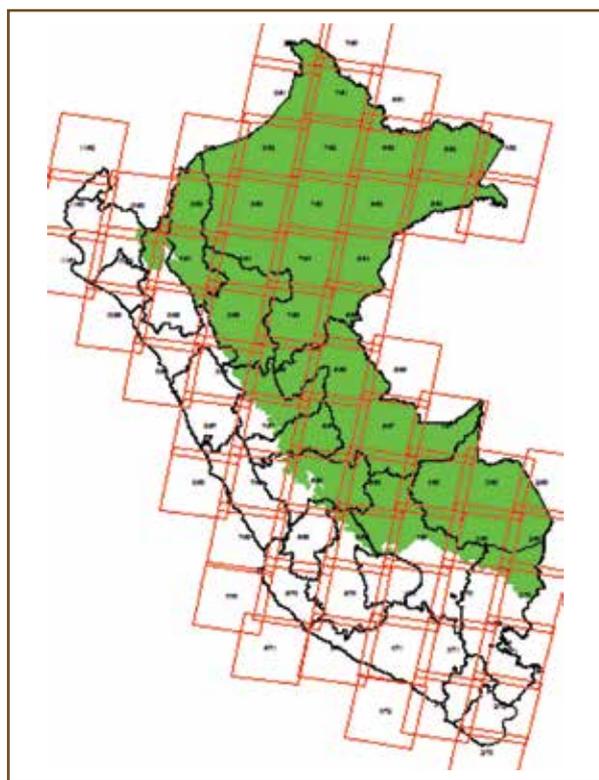


FIGURA 1: 42 escenas de imágenes del satélite LANDSAT TM para cada uno de los años 2000, 2005 y 2009 son procesadas para el análisis de cobertura de bosque, deforestación, degradación y cobertura situacional del bosque.

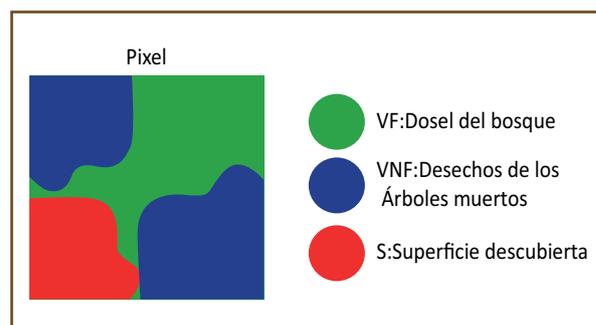


FIGURA 2: El análisis de cobertura fraccional, a través del proceso con CLASlite, determina las fracciones de cobertura dentro de un píxel de la imagen satelital. Estas fracciones son expresadas en porcentaje de Vegetación Fotosintética (VF), Vegetación no fotosintética (VNF) o Superficie descubierta (S).

a) Corrección geométrica (Georregistro Ortorectificación); b) Corrección radiométrica y atmosférica; c) Enmascaramiento de nubes, sombras y cuerpos de agua; d) Análisis de cobertura fraccional; e) Análisis de cobertura de bosque/no bosque; f) Análisis de cambio (cambio de bosque a no bosque y perturbación). Con los resultados de estos análisis se elaboran las estadísticas correspondientes que permiten medir la cobertura de bosque, establecer las tasas de cambio de bosque a no bosque y perturbación; así como los mapas que muestran dichos procesos.

La corrección geométrica es necesaria para poner las imágenes trabajadas en el sistema de referencia de la proyección cartográfica y el posicionamiento geográfico de la imagen en relación al mosaico satelital utilizado (Mosaico Satelital ortorectificado Año 2000; MTC), definiéndose como estándar de error un máximo de 1 píxel de RMS. Dependiendo del área geográfica, se procede al georegistro de la imagen para áreas del Llano

4. El ámbito de la Amazonía Peruana que se consigna, corresponde a la superficie calculada mediante SIG (ARCGIS 9.3).

Amazónico y la Ortorectificación en el caso de ámbitos montañosos de la Amazonía.

La calibración radiométrica y corrección atmosférica también es un paso importante. Mediante la aplicación del algoritmo de corrección conocido como 6S (E. F. Vermote, 1997)⁵ se obtienen las imágenes de reflectancia para toda el área de análisis. Con ello, se corrigen los efectos atmosféricos que influyen en el valor del nivel digital de cada pixel, que para el caso de Landsat es 30 mts. (Resolución espacial de la imagen).

El enmascaramiento consiste en crear parches en las áreas sobre los cuerpos de agua, nubes, o sombras de nubes de cada imagen, a fin de excluir dichas áreas del proceso de análisis, ya que de lo contrario, esto influiría en los resultados a obtener. Las áreas enmascaradas se consideran “áreas no observadas”.

El análisis de cobertura fraccional es un proceso realizado por CLASlite, a través de la aplicación del algoritmo conocido como AutoMCU, un análisis de mezcla espectral basado en el análisis probabilístico de las características del dosel del bosque⁶. Este análisis se realiza para cada pixel de la imagen (Figura 2), en donde se definen fracciones o porcentajes de Vegetación Fotosintética (**VF**); Vegetación No Fotosintética (**VNF**) y Superficie Descubierta o Suelo (**S**). CLASlite se apoya en una amplia librería de firmas espectrales, que fueron recogidas en diferentes trabajos de campo en diferentes partes de la Amazonía peruana y brasileña, así como en otras regiones boscosas del mundo. A partir de la obtención de estos resultados, se elabora los mosaicos de cobertura fraccional correspondiente a los años 2000, 2005 y 2009.

El análisis de cobertura de bosque/no bosque, en términos operativos⁷, utiliza los resultados de cobertura fraccional y la aplicación de un “árbol de decisión”, mediante el cual se discrimina a nivel de pixel, la

cobertura de bosque. Para la Amazonia Peruana, se consideró cobertura boscosa, aquella en donde un pixel tiene un valor de $VF \geq 80\%$ y $S <$ (umbral $\approx 15-20\%$). El valor del umbral para **S** se ajusta en el rango de 15 a 20%, en correspondencia con el tipo de cobertura de bosque, que para el caso de Perú se ajustó mayormente a 15%; sin embargo, puede ser necesario el ajuste del umbral para áreas específicas en donde hay un porcentaje de **S** naturalmente más alto en bosques especiales (“aguajal” *Mauritia sp.*, “paca” *Guadua sp.*, p.e). De esta manera, se obtienen los mapas de Bosque/No Bosque para los 3 años analizados. Un flujo general de los procesos implicados se muestra en la Figura 3. analizando por sus implicancias en la determinación de la deforestación neta cero.

El análisis de cambio de bosque, comprende asimismo la aplicación de otro conjunto de árboles de decisión, un tanto más complejo, en donde se determina los pixeles que registran procesos de cambio de bosque a no bosque y los que registran perturbación tanto de índole antrópico como natural (p.e caída de árboles)⁸. En este caso **la definición operativa de cambio de bosque a no bosque** considera una reducción en las fracciones de **VF** ó un incremento de **S** que corresponde a un cambio desde bosque a No bosque; de otro lado, para que un pixel de la imagen satelital se clasifique como **perturbación**, deberá verificarse un cambio de las fracciones de cobertura menos intensivo, que corresponde a un cambio desde bosque a bosque perturbado o degradado; esto significa un incremento de la **VNF** y reducción de **VF**, ó un incremento de **S**.

A partir de este análisis, se obtienen los mapas de cambio de bosque a no bosque y perturbación forestal.

Es posible realizar un proceso de **análisis de cobertura situacional** para el año actual, es decir, un mapa que muestra la cobertura de bosque, no bosque, bosque en recrecimiento⁹ y áreas enmascaradas para todo el

5. E. F. Vermote, D. Tanre, J. L. Deuze, M. Herman, and J.-J. Morcrette, “Second simulation of the satellite signal in the solar pectrum, 6S: An overview,” IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 35, 675-686 (1997). CLASlite incluye, como componente de su procesamiento, el algoritmo 6S para hacer la corrección atmosférica.
6. **El AutoMCU** se basa en un algoritmo desarrollado para ecosistemas boscosos, de sabana y matorrales (Asner 1998, Asner y Lobell 2000, Asner y Heidebrecht 2002) modificado para bosques tropicales (Asner et al. 2004, 2005) con una fuerte herencia metodológica en CLAS (Carnegie Landsat System), el sistema que le antecedió. El método utiliza librerías espectrales, derivados de extensas bases de datos de campo e imágenes hiper espectrales.
7. En términos conceptuales, cobertura de bosque, según FAO, es el ambiente con presencia de árboles que incluye bosques naturales y plantaciones forestales con una cubierta de copa mayor al 10% y una superficie superior a 0,5 has, cuyos árboles alcanzan una altura mínima de 5 mt. (FRA,2000). Para el caso de Perú se viene discutiendo una altura superior a 3 mts.
8. Degradación para este caso, se debe entender como perturbación de la cobertura boscosa afectado por actividades de tala selectiva, construcción de caminos, de acceso u otra intervención humana o procesos naturales; que sin afectar significativamente la apariencia de la cobertura del bosque, sin embargo inicia el proceso de degradación que de hacerse extenso en superficie cambian o modifican las funciones del ecosistema forestal.
9. Bosque en recrecimiento, es un término general que se pretende aplicar para indicar el estado de recuperación del bosque y que se puede detectar en el análisis de cambio. Puede asumirse que se trata de un bosque secundario, pero se debe tomar en cuenta que un bosque secundario antiguo no se define como bosque en recrecimiento.

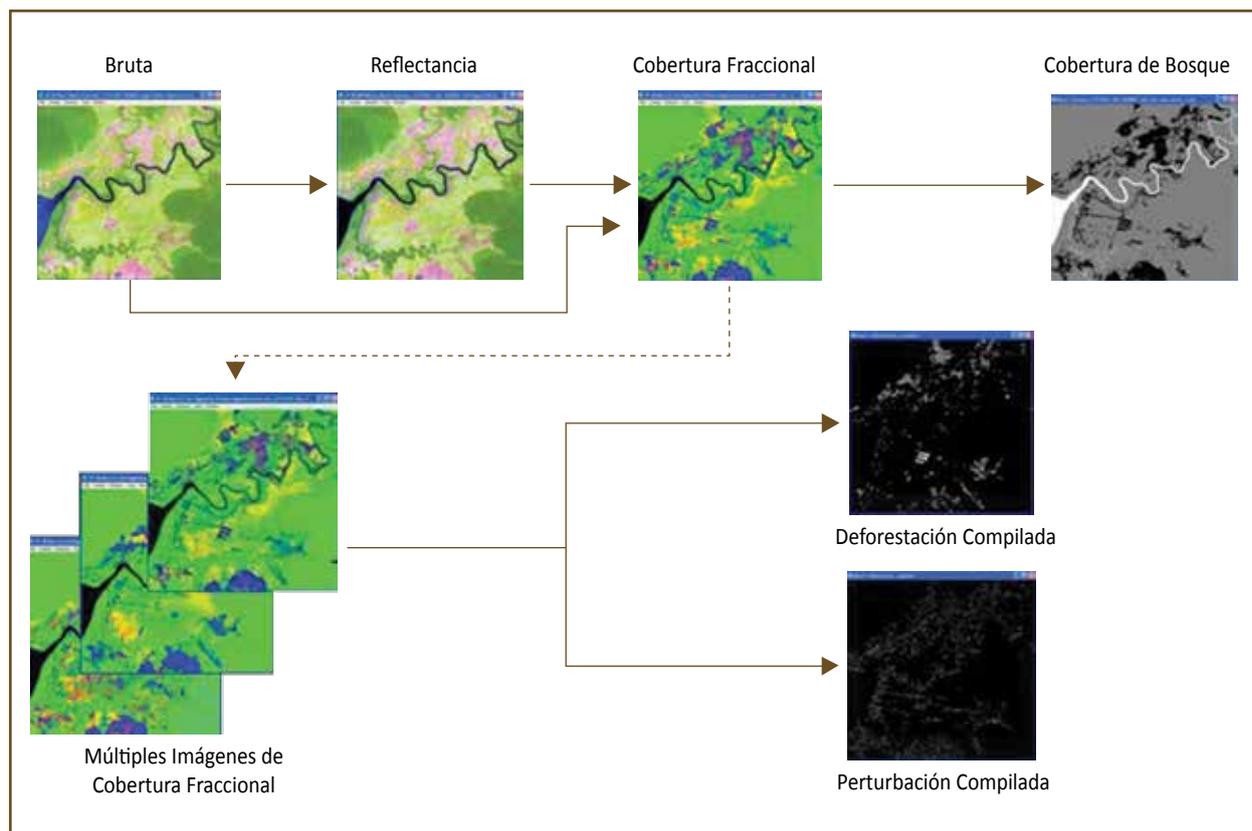


FIGURA 3: Proceso que muestra los pasos para la obtención de la cobertura de bosque, cambio de bosque a no bosque y perturbación con la aplicación de CLASlite.

ámbito trabajado. Se trata de un análisis comparativo de la evolución del bosque a partir del año 2000, teniendo en cuenta los cambios 2000-2005 y 2005-2009. **Esto es un producto que actualmente MINAM viene analizando por sus implicancias en la determinación de la deforestación neta cero.**

5. RESULTADO DEL ANÁLISIS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA COBERTURA DE BOSQUE Y CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE DE LA AMAZONÍA PERUANA, PERIODO 2000-2005-2009

Como producto de la aplicación del proceso de análisis para la cuantificación de la cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque del periodo 2000-2005-2009, bajo la metodología desarrollada por MINAM con el apoyo de CARNEGIE, se obtuvo:

- Cobertura de bosque-no bosque para los años 2000, 2005 y 2009.
- Cobertura de cambio 2000-2005 y 2005-2009 y cálculo de las Tasas de Cambio de bosque a no bosque Nacional y por Regiones
- Mapa de Cobertura de Bosque y Cambio de bosque a no bosque Nacional y por Regiones.

a. Cobertura de bosque - no bosque

En la Figura 4, se puede apreciar la distribución espacial de las áreas de Bosque y No bosque discriminadas de

acuerdo a los parámetros de cobertura fraccional para los años 2000, 2005 y 2009. Cabe señalar que las áreas de color verde representa la cobertura de “bosque”, color naranja representa “no bosque” y las áreas oscuras representan enmascaramientos realizados de acuerdo a la presencia de nubes, sombras y cuerpos de agua; con la finalidad de no afectar el análisis posterior para el cálculo de cambio de bosque a no bosque.

A partir del Cuadro 2, se tiene que en el año 2000, la superficie de bosque cubría el 80,25% del total de área estudiada (78.4 millones de hectáreas); pasando a 78,8% en el año 2005 y 78,6% en el 2009. Para hacer comparable el resultados del mapa de deforestación del año 2000¹⁰ (PROCLIM) y los resultados obtenidos con el trabajo presente, se procedió a aplicar un factor de corrección al reporte de PROCLIM, teniendo en cuenta

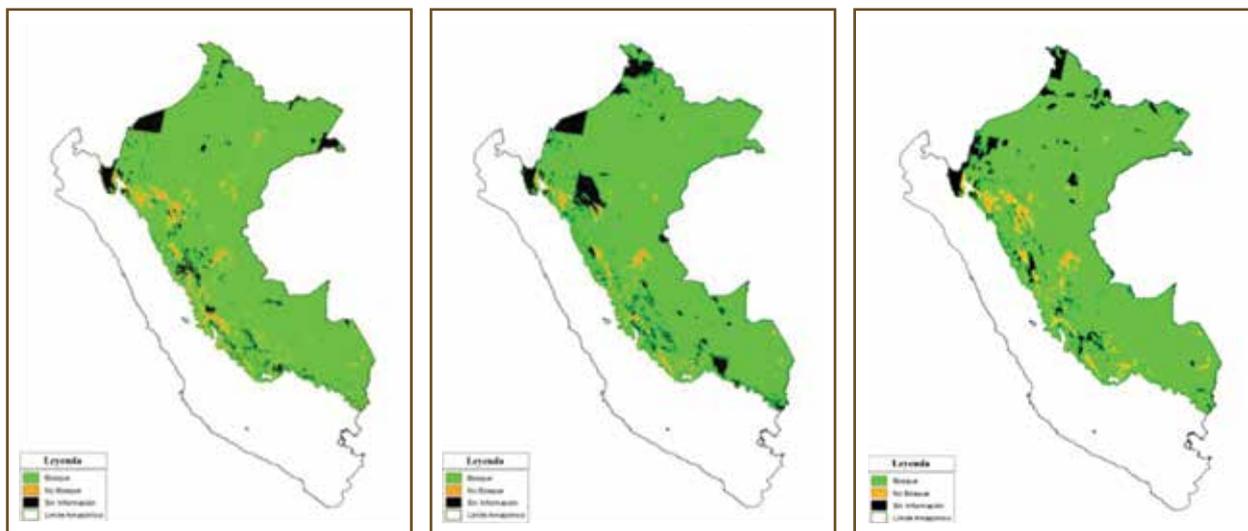


FIGURA 4: Resultados del análisis de cobertura de bosque/no bosque por años.

10. Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana-2000; preparado por INRENA-CONAM en el marco del Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación Aire (PROCLIM).

| Clase | 2000 | % | 2005 | % | 2009 | % |
|--------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| Bosque | 62975218,5 | 80,25 | 61807423,32 | 78,77 | 61697423,07 | 78,63 |
| No Bosque | 5822127,81 | 7,42 | 5329138,5 | 6,791 | 5701335,75 | 7,266 |
| Áreas enmascaradas | 9671873,74 | 12,33 | 11332658,23 | 14,44 | 11070461,23 | 14,11 |
| Área Total | 78469220,05 | 100 | 78469220,05 | 100 | 78469220,05 | 100 |

CUADRO 2: Resultados comparativos por año de la cobertura de bosque/no bosque de la Amazonía Peruana

que se trató de un trabajo de interpretación visual, en la que se estima un factor de corrección por efecto de digitalización manual; por lo que el área de “no bosque” para PROCLIM del año 2000, se reajustó en 6 millones de hectáreas. Siendo que el área de “no bosque” para el presente trabajo es de 5,8 millones de hectáreas (año 2000), existe una diferencia de 238 mil hectáreas menos que el dato de PROCLIM (aproximadamente 3% del dato PROCLIM), que se puede explicar por las diferencias de la cobertura de bosque secundario, que habiendo sido deforestadas en años anteriores al 2000, se suman como cobertura de bosque para ese año.

B. Cambio de cobertura bosque a no bosque

Cambio de Bosque a No Bosque significa una medición de la tasa de conversión de áreas con cobertura boscosa a otros usos o cambios debido a procesos naturales. Los resultados del análisis de cambio de bosque procesado por CLASlite a partir de las coberturas fraccionales de los años 2000, 2005 y 2009 indican que la tasa de cambio de bosque a no bosque promedio anual para el periodo del 2000 al 2009 es 123,200 ha/año a nivel país. No obstante, como se puede apreciar en el Cuadro 3, las tasas de cambio de bosque a no bosque nacional varía entre el periodo 2000-2005 calculado en 91,100 ha/año y en el periodo 2005-2009 calculado en 163,300 ha/año, lo cual requiere de un **análisis sobre los factores de la deforestación** (cambios de bosque a no bosque debido a actividad antrópica) en el territorio nacional que ayude a entender dicha variabilidad, más allá del análisis cuantitativo de los cambios espaciales de la cobertura del bosque.

| | Superficie | Tasa de cambio |
|-----------------------------------|------------|----------------|
| Primer cambio 2000 – 2005 | 455,490 ha | 91,100 ha/año |
| Segundo cambio 2005 – 2009 | 653,340 ha | 163,300 ha/año |

CUADRO 3: Resultados comparativos por periodos de la cobertura de bosque/no bosque de la Amazonía Peruana; siendo el promedio de cambio de ~ 123,200 ha/año.

C. Mapa de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque nacional y por regiones

El mapa muestra el resultado del análisis de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque para todo el ámbito de la Amazonía Peruana y también por ámbitos regionales (Figura 5 y 6), el cual ha sido preparado teniendo en cuenta una resolución de 0.09 has. (Pixel de 30 mt), y permite establecer diferentes unidades mínimas de mapeo a partir de una escala base de 1/100,000.

La base de datos georeferencial generada de este análisis, permite adecuar los conceptos sobre bosque y cambio de bosque a no bosque nacional.

De otro lado, La leyenda de éste mapa presenta la distribución geográfica y los datos cuantitativos sobre los siguientes aspectos:

- Cobertura de Bosque al año 2009 (Color Verde)
- Sin Cobertura de Bosque antes del año 2000 (Color Naranja)
- Áreas de Cambio de Bosque a No Bosque 2000-2005 (Color Rojo)
- Áreas de Cambio de Bosque a No Bosque 2005-2009 (Color Amarillo)
- Tasa de Cambio en el periodo 2000-2005
- Tasa de Cambio en el periodo 2005-2009
- Tasa de Cambio de Bosque a No Bosque 2000-2009
- Cambio de bosque a no bosque acumulada 2000-2009

D. Tasas de cambio de bosque a no bosque por ámbitos regionales

A partir de los resultados a nivel nacional, se ha producido datos similares para cada uno de los ámbitos regionales, los mismos que son presentados a continuación (Cuadro 4):



FIGURA 5: Mapa de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque para el período 2000-2005-2009 en el ámbito de la Amazonía Peruana.

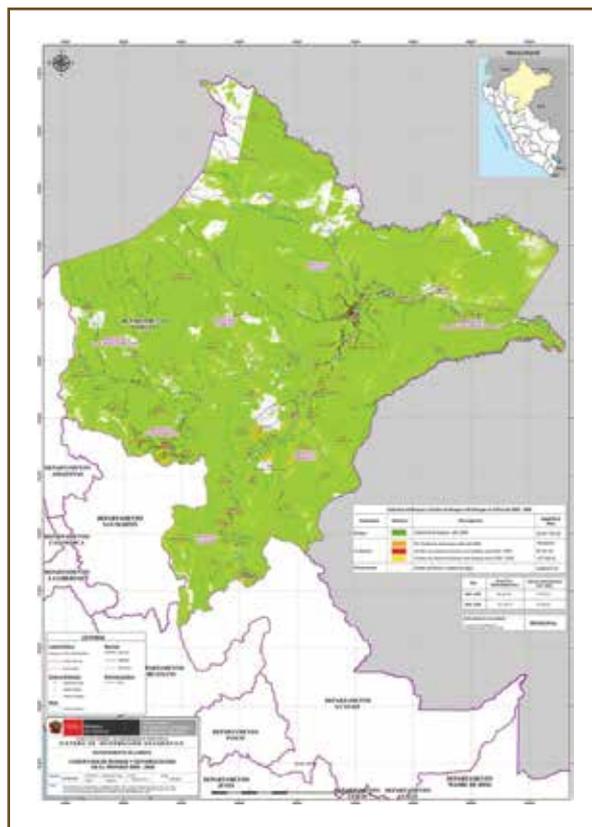
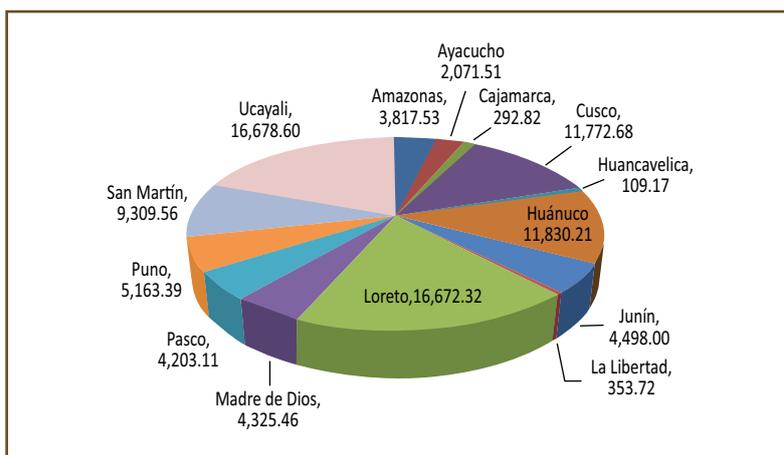
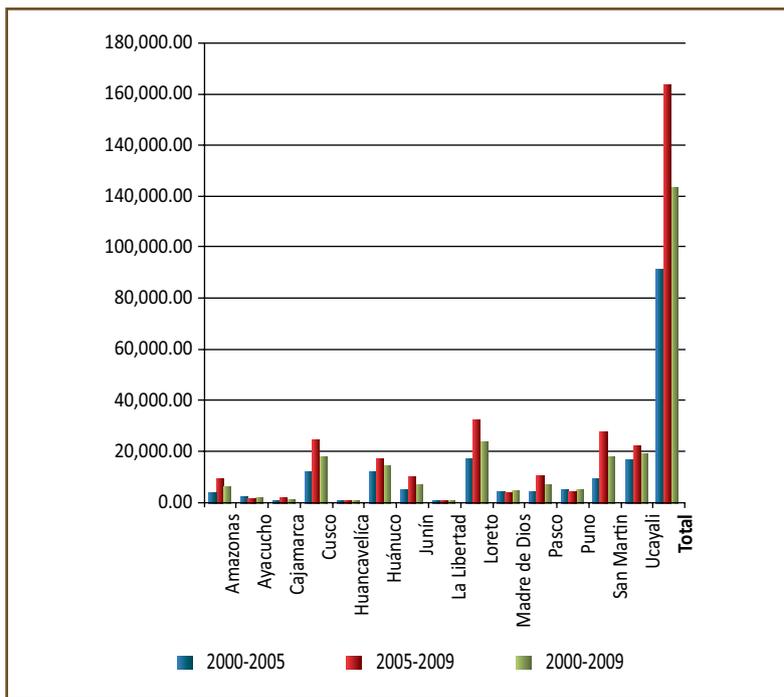


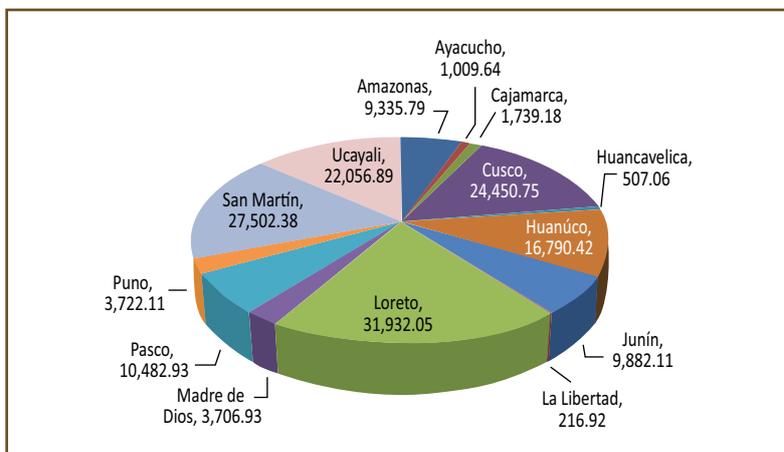
FIGURA 6: Ejemplo de un mapa de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque para el período 2000-2005-2009 en el ámbito regional de Loreto.

| Departamento | Tasa de cambio de bosque a no bosque (ha/año) | | |
|---------------|---|-------------------|-------------------|
| | 2000-2005 | 2005-2009 | 2000-2009 |
| Amazonas | 3,817.53 | 9,335.79 | 6,270.09 |
| Ayacucho | 2,071.51 | 1,009.64 | 1,599.57 |
| Cajamarca | 292.82 | 1,739.18 | 935.65 |
| Cusco | 11,772.68 | 24,450.75 | 17,407.38 |
| Huancavelica | 109.17 | 507.06 | 286.01 |
| Huánuco | 11,830.21 | 16,790.42 | 14,034.75 |
| Junín | 4,498.00 | 9,882.11 | 6,890.94 |
| La Libertad | 353.72 | 216.92 | 292.92 |
| Loreto | 16,672.32 | 31,932.05 | 23,454.42 |
| Madre de Dios | 4,325.46 | 3,706.93 | 4,050.56 |
| Pasco | 4,203.11 | 10,482.93 | 6,994.14 |
| Puno | 5,163.39 | 3,722.11 | 4,522.82 |
| San Martín | 9,309.56 | 27,502.38 | 17,395.26 |
| Ucayali | 16,678.60 | 22,056.89 | 19,068.95 |
| Total | 91,098.10 | 163,335.16 | 123,203.46 |

CUADRO 4: Resultados comparativos de la tasa de cambio de bosque a no bosque a nivel nacional y por regiones amazónicas, según periodos 2000-2005; 2005-2009 y promedio de 9 años 2000-2009.



Ranking de las regiones con más alta tasa de cambio de bosque a no bosque en el periodo de análisis 2000-2005.



Ranking de las regiones con más alta tasa de cambio de bosque a no bosque en el periodo de análisis 2005-2009.

6. VALIDACIÓN DEL ANÁLISIS DE COBERTURA DE BOSQUE Y CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE

La validación de la exactitud temática permite definir el grado de fidelidad de los valores obtenidos en el análisis de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque, producido por la metodología aplicada con respecto a su verdadera característica encontrada en el mundo real y su clasificación correcta¹¹.

Para la evaluación de la exactitud temática del Mapa de Cobertura de Bosque y Cambio de bosque a no bosque de la Amazonía Peruana, el MINAM ha preparado un Protocolo específico que ha tenido en consideración los estándares internacionales ISO 19113: Principios de la calidad; ISO 19114: Procedimientos de evaluación de la calidad; e ISO 19138: Medidas de calidad de la información geográfica. Asimismo, los conceptos, método, procedimientos y resultados esperados de la aplicación del presente documento son compatibles

con las recomendaciones de la Guía del IPCC (Capítulo 5, Sección 5.3.4.1 y Capítulo 2, Sección 2.4.4.1)¹².

Para realizar la evaluación de la exactitud temática se tuvo en consideración los siguientes objetivos:

- Determinar espacialmente la superficie de validación basado en la confluencia de los frentes de uso y cambio de uso de la tierra para la aplicación del método de validación.
- Diseñar la muestra espacio-tiempo teniendo en cuenta la verificación de puntos de observación/validación con aplicación de imágenes de alta resolución y supervisión de campo.
- Evaluar la exactitud temática de los resultados a través de las medidas de exactitud, precisión y error.

11. Concepto extraído del documento de la Secretaría Técnica Nacional de Normalización de Información Geográfica; Colombia; Comité Técnico INCOTE 0034, del anteproyecto de norma de calidad; pag. 14.

12. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS.

| Resultados de referencia (en campo) | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|------------|-------------|---------------|-------|-------------------|----------------|
| Resultados de CLA Slite | Clases | Bosque | No bosque | Recrecimiento | Total | Exactitud usuario | Error comisión |
| | Bosque | 97 | 11 | 2 | 110 | 0,88181818 | 0,11818182 |
| | No bosque | 1 | 118 | 0 | 119 | 0,99159664 | 0,00840336 |
| | Recrecimiento | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 1 |
| | Total | 98 | 129 | 7 | 220 | | |
| | Exactitud Productor | 0,98979592 | 0,914728680 | 0 | | | |
| | Error Omisión | 0,01020408 | 0,08527132 | | | | |

CUADRO 5: Resultados de la matriz de confusión y cálculo del Índice de Kappa para los puntos de validación de campo.

Clases bien estimadas Total = 220 puntos

Total de clases Total = 239 puntos

Fiabilidad estimada = 92.05

Error de muestreo = 1.58

Índice de Kappa = 0.85

Concordancia con la realidad:

| Coefficiente de Kappa (k) | Fuerza de concordancia |
|---------------------------|------------------------|
| 0.00 | Pobre |
| 0.01 - 0.20 | Leve |
| 0.21 - 0.40 | Aceptable |
| 0.41 - 0.60 | Moderada |
| 0.61 - 0.80 | Considerable |
| 0.81 - 1.00 | Casi Perfecta |

| Resultados de referencia (IKONOS) | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|------------|------------|---------------|-------|-------------------|----------------|
| Resultados de CLA Slite | Clases | Bosque | No bosque | Recrecimiento | Total | Exactitud usuario | Error comisión |
| | Bosque | 441 | 20 | 18 | 479 | 0,92066806 | 0,07933194 |
| | No bosque | 2 | 239 | 7 | 248 | 0,96370968 | 0,03629032 |
| | Recrecimiento | 0 | 1 | 5 | 6 | 0 | 1 |
| | Total | 443 | 260 | 30 | 685 | | |
| | Exactitud Productor | 0,99548533 | 0,91923077 | 0 | | | |
| | Error Omisión | 0,00451467 | 0,08076923 | | | | |

CUADRO 6: Resultados de la matriz de confusión y cálculo del Índice de Kappa para los puntos de validación con imágenes de alta resolución.

Clases bien estimadas Total = 685 puntos

Total de clases Total = 757 puntos

Fiabilidad estimada = 90.49

Error de muestreo = 1.07

Índice de Kappa = 0.82

Concordancia con la realidad:

| Coefficiente de Kappa (k) | Fuerza de concordancia |
|---------------------------|------------------------|
| 0.00 | Pobre |
| 0.01 - 0.20 | Leve |
| 0.21 - 0.40 | Aceptable |
| 0.41 - 0.60 | Moderada |
| 0.61 - 0.80 | Considerable |
| 0.81 - 1.00 | Casi Perfecta |

RESULTADOS

El nivel de exactitud del mapa ha sido calculado a través de la generación de una Matriz de confusión cuyas métricas de exactitud fueron calculadas y luego aplicadas a un índice de Kappa, que determina el grado de correlación de la clasificación de las unidades temáticas del mapa con la realidad medida en campo. Para ello se evaluó una muestra significativa 239 puntos en campo para un nivel de confianza de 92% (Fórmula de Cochran) y 685 puntos de validación con imágenes de alta resolución. La evaluación correspondió a un muestreo aleatorio sistemático estratificado.

El resultado general de la validación arroja un índice de **Kappa de 0.85** para los puntos de validación de campo y un índice de **Kappa de 0.82** para los puntos de validación con imágenes; lo cual señala un alto grado de correlación con la realidad o exactitud temática del mapa producido. A continuación se aprecia los resúmenes de las matrices de confusión y coeficiente de Kappa calculado (Cuadro 5 y 6) y registros fotográficos de las campañas de campo realizados (Figura 7).



FIGURA 7: Registros fotográficos del trabajo de validación de campo, realizado entre setiembre-octubre-noviembre del año 2011.

7. MONITOREO TERRITORIAL DEL PERÚ A TRAVÉS DEL OBSERVATORIO AÉREO DE CARNEGIE - CAO

De acuerdo al Proyecto: Avance de la Ciencia y Monitoreo Territorial del Perú, la Institución Carnegie con la asociación del MINAM, en el marco del Convenio, vienen desarrollando la colección aérea de datos, su análisis y uso, en atención a las necesidades operativas del Ministerio y como información exploratoria para considerar futuras aplicaciones en el mapeo y monitoreo de los bosques y el territorio en general. Esta iniciativa se lleva a cabo como un esfuerzo colaborativo, de entrenamiento y capacitación práctica en el que participan miembros del equipo de Carnegie y del MINAM, de la cual este proyecto viene produciendo un gran número de “muestras” dependiendo del tipo de bosque y las condiciones del terreno y el clima. El muestreo aéreo es contrastado con los datos existentes en parcelas de campo (para calibración y validación), combinaciones terreno-clima-vegetación para los bosques amazónicos de tierras bajas hasta los bosques montanos, así como diferentes tipos de cobertura y uso de la tierra tales como áreas protegidas, concesiones madereras, reservas extractivas, cultivos en asociación con bosques y agricultura extensiva de tierras bajas y montanos.

Dentro de las metas de este proyecto con el CAO se tienen los siguientes puntos:

1. Monitoreo del impacto de la sequía mundial en la Amazonía producida en el 2010: para evaluar la representatividad en las diferentes observaciones realizadas sobre la mortalidad de los árboles y el estrés del dosel que esta sequía puede estar provocando, tal y como se ha medido en la red de parcelas RAINFOR. Este componente combina datos de los espectrómetros ATOMS y LiDAR para evaluar la composición, estructura tridimensional y química del dosel de los bosques expuestos a diferentes grados de sequía durante el año 2010. Los hallazgos derivados de esta parte permitirán a los científicos, Jefes de áreas, y formuladores de políticas, entender los efectos de la sequía sobre la vegetación del bosque amazónico. Esto será esencial para la toma de decisiones basadas en información científica sobre los efectos actuales y potenciales del cambio climático en la región.

2. Generar un mosaico de muestras de carbono de diferentes paisajes: que abarquen ecosistemas boscosos desde tierras bajas a montanos. Estas muestras proveerá una base crítica para una campaña de seguimiento en el futuro, para el mapeo del carbono la Amazonia peruana. Este componente usa ATOMS LiDAR con las ecuaciones de conversión LiDAR-a-biomasa previamente derivadas y en lo posible verificadas en campo. Estas muestras ofrecerán un apoyo directo a la estrategia de implementación de REDD en el Perú.

3. Expandir las bibliotecas espectrales de CLASlite: coleccionar nueva data espectral para una amplia gama de coberturas boscosa y no boscosa (por ejemplo, incluyendo palmas, aguajales, pacaes y uso de la tierra como palma aceitera y cacao, así como bosques montanos), que son esenciales para el desarrollo y análisis de la deforestación y la degradación forestal, para lo cual estas bibliotecas espectrales serán adaptadas para la versión de CLASlite que el MINAM a través de la DGOT utiliza en sus análisis y aún más en la aplicación de una gama más amplia de ambientes en el Perú.

4. Realizar líneas de vuelo en la zona de estudio para evaluar y validar los mapas de cobertura de bosque y deforestación que la DGOT-MINAM produce: esto significa un muestreo regional adicional de áreas boscosas y no boscosas usando los espectrómetros de CAO y LiDAR. Esto proveerá la mejor data disponible para la validación de los resultados recientes de deforestación generados por el MINAM y Carnegie, principalmente en las regiones de la Amazonía Peruana. Se hace un especial énfasis en la colecta de datos en áreas críticas afectadas por la actividad de minería artesanal en ámbitos como Madre de Dios.

Cada muestra de los diferentes paisajes contendría información detallada sobre el tipo de vegetación, cobertura boscosa, estructura y condición, carbono sobre la superficie y composición de las plantas. La data se coleccionaría en una resolución espacial de 0,5 a 1,5 m.

REFERENCIAS

1. Asner, G. & Heidebrecht K. 2002. Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon in arid regions: Comparing multi-spectral and hyperspectral observations. *International Journal of Remote Sensing* 23:3,939-3,958.
2. Asner, G., Keller M., Pereira R., Zweede J. & Silva J. 2004. Canopy damage and recovery following selective logging in an Amazon forest: Integrating field and satellite studies. *Ecological Applications* 14(4):280-298.
3. Asner G., Páez G., Knapp D., Balaji A. y Clark J. 2009. Sistema Amigable de Monitoreo de la Deforestación y Perturbación de Bosques Tropicales CLASlite®. Guía del usuario, versión 2.0. Departamento de Ecología Global. Institución Carnegie para la Ciencia. 260 Panama Street, Stanford, CA 94305 USA.
4. E. F. Vermote, D. Tanre, J. L. Deuze, M. Herman, and J.-J. Morcrette, "Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview," *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.* 35, 675-686 (1997). CLASlite incluye, como componente de su procesamiento, el algoritmo 6S para hacer la corrección atmosférica.
5. ISO19113; Información Geográfica - Principios de Calidad.
6. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DETALLADOS DEL PROCESO DE LOS DATOS DE CAMPO PARA LA VALIDACIÓN

TRAMO I

| Cobertura | Bosque | No bosque | Recrecimiento | Total |
|---------------|--------|-----------|---------------|-------|
| Bosque | 42 | 7 | 2 | 51 |
| No Bosque | | 69 | | 69 |
| Recrecimiento | | | 0 | 0 |
| Total | 42 | 76 | 2 | 111 |
| | 0.347 | 0.628 | 0.017 | |

0.421
0.570
0.000

| Total de ptos | |
|---------------|-----|
| | 121 |
| | 54 |
| | 67 |
| | 0 |

| | | | |
|-----|-------|-----|-------|
| Pe= | 0.504 | Po= | 0.917 |
| | | K= | 0.833 |

TRAMO II

| Cobertura | Bosque | No bosque | Recrecimiento | Total |
|---------------|--------|-----------|---------------|-------|
| Bosque | 23 | 3 | | 26 |
| No Bosque | | 18 | | 18 |
| Recrecimiento | | | 1 | 1 |
| Total | 23 | 21 | 1 | 42 |
| | 0.460 | 0.420 | 0.020 | |

0.52
0.36
0.02

| Total de ptos | |
|---------------|----|
| | 50 |
| | 29 |
| | 20 |
| | 1 |

| | | | |
|-----|-------|-----|-------|
| Pe= | 0.391 | Po= | 0.840 |
| | | K= | 0.737 |

TRAMO III

| Cobertura | Bosque | No bosque | Recrecimiento | Total |
|---------------|--------|-----------|---------------|-------|
| Bosque | 32 | 1 | 0 | 33 |
| No Bosque | | 31 | | 31 |
| Recrecimiento | | | 4 | 4 |
| Total | 32 | 32 | 4 | 67 |
| | 0.471 | 0.471 | 0.059 | |

0.485
0.456
0.059

| Total de ptos | |
|---------------|----|
| | 68 |
| | 34 |
| | 30 |
| | 4 |

| | | | |
|-----|-------|-----|-------|
| Pe= | 0.446 | Po= | 0.985 |
| | | K= | 0.973 |

GENERAL

| Cobertura | Bosque | No Bosque | Recrecimiento | Total |
|---------------|--------|-----------|---------------|-------|
| Bosque | 97 | 11 | 2 | 110 |
| No Bosque | 1 | 118 | 0 | 119 |
| Recrecimiento | 0 | 0 | 5 | 5 |
| Total | 98 | 128 | 7 | 220 |
| | 0.410 | 0.540 | 0.029 | |

0.460
0.498
0.021

| Total de ptos | |
|---------------|-----|
| | 239 |
| | 115 |
| | 119 |
| | 5 |

| | | | |
|-----|-------|-----|-------|
| Pe= | 0.458 | Po= | 0.921 |
| | | K= | 0.853 |

Anexo 2. ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA LA DESCRIPCIÓN DEL METODO APLICADO POR MINAM PARA EL ANÁLISIS DE COBERTURA DE BOSQUE Y CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE CON SENSORES REMOTOS¹³

1. Procesamientos de imágenes

La memoria técnica de cada mapa de cobertura debe responder o tener información sobre las siguientes preguntas con respecto al procesamiento de imágenes.

- **¿Qué imágenes/sensores/archivos fueron utilizados?**
Imágenes LANDSAT tm5; bandas: visual, infraroja y termal (1-7).
- **¿Las imágenes utilizadas provienen de 1 solo año o de varios? ¿En el caso que se utilizaron años múltiples, que procesamiento adicional se realizó?**
Las imágenes son de los años, 2000, 2005 y 2009 todas las imágenes tuvieron el mismo procesamiento:
 - Calibración radiométrica
 - Corrección atmosférica
 - Análisis de mezcla espectral
 - Clasificación con árbol de decisión
- **¿Son las imágenes de mismo periodo (estación de año)? ¿Si no lo son, que pre-procesamiento se realizó?**
Si, todas las imágenes corresponden al mismo periodo o estación del año entre junio-julio-agosto.

- En el caso de Landsat 7 (post 2003), ¿que procedimientos se realizaron para llenar los huecos de información?

No se utilizó imágenes landsat 7.

2. Correcciones radiométrica y atmosférica

- **¿Qué métodos se emplearon para la corrección de neblina o artefactos atmosféricos?**
Después de la corrección radiométrica con los factores de conversión (GAIN Y OFFSET) del LANDSAT 5, se utilizó el método de segunda simulación de la señal satelital del espectro solar (6s).
- **¿Cuáles fueron resultados de las correcciones GEOMÉTRICAS? Ejemplo, RMS<1 en resolución espacial de 30m**
Las imágenes fueron corregidas en base al mosaico satelital ortorectificado del año 2000 (MTC), con un RMS<1 (máximo aceptable).
- **Si RMS>1, orto-corrección/normalización de topografía es requerido. ¿Que métodos se utilizaron**

13. Basado en los aportes de la Mesa REDD de San Martín, en referencia a documentos como GOF-C-GOLD REDD Sourcebook (2009-2011), IPCC. GL. AFOLU (2006), IPCC Good Practice Guidance (2003).

para esto? ¿Qué datos de elevación se utilizaron, cual fueron los resultados? previendo que el Geocover dataset tiene problemas en los Andes.

No se ha trabajado con RMS>1.

- **¿Las imágenes fueron evaluadas por geo-localidades a través de las diferentes épocas? Por ejemplo 2000 vs 2005 vs 2010)**

Las imágenes de cada época fueron corregidas al mosaico ortorectificado.

- **¿Fueron las nubes removidas de la imagen? ¿Qué métodos se utilizaron?**

Las nubes fueron enmascaradas utilizando la banda termal (banda 6), también la banda 1 de LANDSAT y la imagen de error RMS del algoritmo de mezcla espectral (AUTOMCU).

- **¿Se utilizaron canales térmicos? ¿Qué metodología se utilizaron?**

Si, se usó la banda 6 de LANDSAT.

3. Métodos de clasificación

- **¿Qué definición de bosque se utilizó? ¿Cómo se aplicaron los criterios en el procesamiento?**

La cobertura de bosque se define por el porcentaje de vegetación fotosintética (**VF**) y suelo (**S**) a nivel de pixel que puede ser extraído de las imágenes satelitales y clasificado según un umbral determinado.

Criterios de clasificación correspondieron a un árbol de Decisión definido según:

$Vf \geq 80\%$ and $s < 15\%$

- **¿Si firmas espectrales fueron desarrolladas para la clasificación, estas firmas fueron creadas solo de aquellos bosques que cumplen los criterios de definición de bosques?**

Las firmas fueron creadas para los bosques tropicales e incorporados en el algoritmo de mezcla espectral (automcu) que incluye firmas para vegetación fotosintética que corresponde a vegetación viva a nivel del dosel del bosque. Asimismo los espectros de vegetación no fotosintética que corresponde a vegetación muerta/senecente y compuestos secos de carbono y los espectros de superficie descubierta, que corresponde a suelos expuestos, fueron incorporados.

- **¿Cómo se clasifican o interpretan los barbechos/purmas?**

La clasificación esta en función de los porcentajes de vf y s; por lo tanto la interpretación de barbechos o purmas se clasifican como bosque o no bosque, dependiendo de los porcentajes de vf y s; pudiendo clasificarse como bosque en el caso de purmas altas o como no bosque en el caso de purmas recientes.

- **Descripción de metodología utilizada para la creación de clases (ipcc, otra)**

Las clases son creadas por una definición operativa basada en criterios de cobertura fraccional para determinar cobertura de bosque y cobertura de no bosque.

- **¿La metodología considera o mide degradación? ¿Qué métodos se utilizaron para esto?**

Si mide degradación en términos de perturbación que es un componente de la degradación y que puede ser medido con sensores remotos como cambio negativo. Para este análisis, se utiliza criterios de cambio entre los porcentajes de vegetación no fotosintética, vegetación fotosintética y suelo.

- **¿De qué regiones y elevaciones se crearon las bibliotecas espectrales para la clasificación?**

Las bibliotecas espectrales son utilizadas para el análisis de mezcla espectral (automcu) y representan un amplio rango de propiedades espectrales para bosques tropicales del mundo. Las propiedades espectrales de los bosques amazónicos se encuentran representadas dentro de este amplio rango.

Los espectros de la biblioteca utilizada responden principalmente a condiciones biofísicas.

- **¿Qué algoritmo de clasificación fue usado, ejemplo, maximum likelihood?**

Para la medición de la cobertura de bosque-no bosque, deforestación y degradación se utilizó árboles de decisiones con criterios que clasifican el análisis de cobertura fraccional.

Para cobertura de bosque-no bosque:

$VF \geq 80\%$ AND $S < 15\%$

Para deforestación:

$((VF0 - VF1) \geq 25)$

OR $((S0 \leq 5) AND ((S1 - S0) \geq 15))$

OR $((VF1 < 80) AND ((VNF1 - VNFO) \geq 20))$

Para perturbación:

$((((VNF1-VNFO) \geq 10) \text{ AND } (VFO-VF1) > 10)) \text{ OR } ((S0 \leq 5) \text{ AND } ((S1-S0) > 10) \text{ AND } (S1 \leq 15)))$

- **¿Las imágenes son clasificadas juntas o separadamente?**

El análisis de mezcla espectral es un análisis a nivel de pixel y no por imagen.

- **¿Cuáles son las fuentes de datos de campo para la validación de los mapas?**

Fuentes primarias tomados en campo a través de un diseño estadístico con puntos randomizados distribuidos de manera estratificada y aleatoria. Asimismo se usó fuentes de validación a través de imágenes de alta resolución.

- **¿Qué método automatizado fue utilizado, ejemplo, CLAS, Claslite, segmentación de objeto, etc? ¿Qué parámetros fueron utilizados en la clasificación?**

AUTOMCU de claslite y árboles de decisiones modificados por minam.

- **¿Es el método fácilmente replicable en otras regiones?**

Si.

- **¿Se utiliza conocimiento de experto para clasificar las imágenes? si es el caso, describir el proceso?**

No.

- **¿Es posible documentar la regeneración de bosques en los mapas?**

Si, a partir de árboles de decisión que combinan la cobertura de bosque del último año y los cambios de bosque-no bosque en diferentes años.

- **¿se documentó zonas quemadas?**

No. Pero es posible hacerlo.

4. Post-procesamiento

- **¿Se utilizaron filtros para mejorar los mapas?**

Píxeles menores a 1 ha fueron filtrados.

- **¿Qué método de evaluación se utilizó y quién lo desarrolló?**

No se entiende a qué se refiere la pregunta.

- **¿El post procesamiento aplica un filtro de píxeles para alcanzar la definición de bosques?**

No, se mantiene los píxeles clasificados de cobertura de bosque a 0.09 HAS. Esto es así en tanto no hay una definición nacional de bosque.

- **¿Cuál es la resolución espacial de producto final?**

0.09 HAS = 1 PIXEL DE 30mt.

- **¿Cuál es la unidad mínima de mapeo?**

0.09 HAS = 1 PIXEL DE 30mt. Que se ajustará de acuerdo a la definición de bosques.

En general, los datos, la clasificación y la metodología utilizada deben cumplir con los cinco principios IPCC.

- **Transparencia:** SI CUMPLE, porque se dispone de una metodología, claramente explicada, para facilitar la repetición y evaluación por usuarios de la información reportada.

- **Consistencia:** SI CUMPLE, porque el análisis corresponde a una medición cuantitativa y sistemática a nivel de pixel que son aplicables en diferentes años con la misma metodología a partir de 1 año base.

- **Comparabilidad:** SI CUMPLE, porque se utiliza un método replicable y resultados de clases que se asumen en categorías estándar.

- **Totalidad;**

- **Precisión;** SI CUMPLE, porque se reporta los rangos de error en el análisis y los mapas resultantes pasan por un proceso de evaluación de su exactitud y precisión.

- **La documentación debe exponer como el producto cumple los requerimientos expuestos en el ítem anterior.**

Si, se viene preparando la documentación correspondiente para exponer dichos puntos.

- **¿Existen procedimientos estándares de operación escritos para la utilización de los datos?**

Si, se han desarrollado los protocolos correspondientes.

ANEXO 3. ALCANCES DEL MAPA DE COBERTURA DE BOQUE Y DEFORESTACION COMO REFERENTE E INSTRUMENTO PARA LA GESTIÓN TERRITORIAL

Dado que el anterior referente en el Perú sobre la superficie deforestada y las tasas de deforestación fueron calculados para el periodo 1990-2000; **la cuantificación de la cobertura de bosques y cambio de bosque a no bosque para el periodo 2000-2009 constituye el referente actual**, con el cual se podrá tomar decisiones y plantear políticas públicas tanto a nivel nacional como a nivel de los ámbitos regionales. El proceso de generación de nuevos datos para los años 2010 y 2011 está en marcha y se espera que sea un proceso continuo de monitoreo el cual será ampliado a todos los tipos de coberturas de la tierra del territorio nacional.

Los resultados obtenidos se consideran también un instrumento de gestión para diversos procesos técnicos como la zonificación ecológica económica, la elaboración de los planes de ordenamiento territorial en los ámbitos regionales, el inventario forestal y manejo forestal sostenible, la evaluación y valoración de los servicios ecosistémicos; el manejo de las Áreas Naturales Protegidas, entre otros; ya que las bases de datos generadas, los mapas elaborados y los protocolos desarrollados, están siendo transferidos a los equipos técnicos en las regiones a través de procesos de capacitación, y se establecen acuerdos para mantener la asistencia técnica y trabajo coordinado con el Ministerio del Ambiente.

Alguno de los alcances que estos resultados provee como referente e instrumento de gestión son:

- Incorporación en los planes de desarrollo regional, teniendo como base el estado de los bosques, su ubicación y tasas de cambio de bosque a no bosque que pueden ser calculados por provincia y distritos.
- Instrumento para la evaluación del impacto en los proyectos de inversión pública: infraestructura vial, generación de energía, ocupación poblacional y de explotación de recursos; teniendo como referencia

las áreas de mayor tasa de cambio y proyecciones de deforestación futuras.

- Insumo para la evaluación y gestión de riesgos al definir las áreas de mayor sensibilidad por pérdida de cobertura forestal, definición de los incrementos de la erosión y su impacto en las poblaciones.
- Elaboración de los Planes Directores y Planes Maestros en las Áreas Naturales Protegidas identificando las áreas con presencia de amenazas a los objetos de conservación y la evaluación de las áreas prioritarias para la conservación.
- Elaboración de la zonificación ecológica económica al incorporar el análisis de cobertura de bosque y deforestación en los modelos de evaluación del valor bioecológico y aprovechamiento de recursos naturales renovables. Asimismo, se incorpora en el análisis prospectivo de los planes de ordenamiento territorial.
- Insumo base para el desarrollo del Inventario Forestal Nacional y futuros proyectos de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal.
- Base en la formulación de acciones para la conservación de los bosques, proporcionando datos cuantitativos sobre el cumplimiento de los acuerdos de incentivos por áreas conservadas.
- Instrumento para medir el cumplimiento de las metas trazadas en el Plan Nacional de Acción Ambiental, referente a deforestación actualizada al 2012 y tasa de deforestación neta cero al 2021.

Anexo 4. MARCO NORMATIVO

a. Articulación con directivas y normas que dan base legal a las acciones realizadas

- Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente. Artículo 7º Funciones Específicas:

“c) Establecer la política, los criterios, las herramientas y los procedimientos de carácter general para el ordenamiento territorial nacional, en coordinación con las entidades correspondientes, y conducir su proceso”.

- D.L N° 1013 que aprueba la creación, organización y funciones del Ministerio del Ambiente; otorga competencia para establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial ambiental (Art.2). El Art. 7 inciso (a) hace referencia a diversas funciones específicas entre las que se mencionan la aprobación y ejecución del Plan Nacional de Acción Ambiental, Dirigir el Sistema Nacional de Información Ambiental; entre otros.

- Art.37 del D.S 007-2008-MINAM señala que **La DGOT es la encargada de administrar, organizar y actualizar el Sistema de Información Geográfica del Ministerio** para proveer información técnica especializada que contribuya a la toma de decisiones en coordinación con los viceministerios, direcciones de línea e instituciones adscritas, entre otras, suministrando información al SINIA.

- Art.37 del D.S 007-2008-MINAM señala que la Dirección General de Ordenamiento Territorial es la dirección encargada de conducir y dirigir la ZEE así como la elaboración de **estudios especializados**.

- Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) señala:

“Artículo 3.- Objetivos de la Zonificación Ecológica y Económica – ZEE, tales como son objetivos de la Zonificación Ecológica y Económica-ZEE:

a) Conciliar los intereses nacionales de la conservación del patrimonio natural con el **aprovechamiento sostenible de los recursos naturales**;

b) **Orientar la formulación, aprobación y aplicación de políticas nacionales, sectoriales, regionales y locales sobre el uso sostenible de los recursos naturales y del territorio**, así como la gestión ambiental en concordancia con las características y potencialidades de los ecosistemas, la conservación del ambiente, y el bienestar de la población;

c) Proveer el sustento técnico para la formulación de los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, en el ámbito nacional, regional y local;

d) Apoyar el fortalecimiento de capacidades de las autoridades correspondientes para conducir la gestión de los espacios y los recursos naturales de su jurisdicción;

e) Proveer información técnica y el marco referencial para promover y orientar la inversión pública y privada; y

f) Contribuir a los procesos de concertación entre los diferentes actores sociales sobre la ocupación y uso adecuado del territorio.

- Decreto del Consejo Directivo N° 010-2006-CONAM/CD – Aprueban la Directiva Metodología para la Zonificación Ecológica y económica, **que define como una de las variables a considerar el Mapa de Deforestación**.

“Toda la información, tanto generada, como recopilada y actualizada, debe ser homogenizada y sistematizada por cada disciplina o grupo de disciplinas, y presentada en mapas, en coordinación con el especialista en Sistemas de Información Geográfica-SIG.

Los mapas temáticos generados en esta fase según la escala de trabajo, nivel de zonificación y características biofísicas y socioeconómicas del área de estudio, son:

Variables biofísicas:

1. *Mapa base hidrográfico*
2. *Mapa de geología*
3. *Mapa de geomorfología*
4. *Mapa oceanográfico*
5. *Mapa de fisiografía, suelos y pendientes*
6. *Mapas de las variables del clima (considerando eventos extremos que detallen localización, severidad, frecuencia, duración)*
7. *Mapa de pisos altitudinales y zonas de vida*
8. *Mapa hidrológico (cuencas y acuíferos)*
9. *Mapa de vegetación*
10. *Mapa de geodinámica interna*
11. *Mapa de geodinámica externa (erosión, remoción, inundación, etc.)*

12. *Mapa de peligros naturales***Variables socioeconómicas:**13. *Mapa de comunidades indígenas y campesinas*14. *Mapa demográfico*15. *Mapa de frentes económicos***16. Mapa de deforestación**17. *Mapa de ocupación del territorio y uso actual*18. *Mapa de problemas ambientales (incluye pasivos y conflictos ambientales)*19. *Mapa de elementos del patrimonio natural*20. *Mapas de Áreas Naturales Protegidas – ANP*21. *Mapa de ecosistemas agrícolas*22. *Mapa de desertificación*23. *Mapa de recursos agroarqueológicos*24. *Mapa de etnias y lenguas*25. *Mapa de vías de comunicación*26. *Mapa de usos del agua.”*

- D.S N°014-2011-MINAM que aprueba el **Plan Nacional de Acción Ambiental**, documento de planificación para el periodo 2011-2021 que define la **Meta 4 relacionada a cambio climático: deforestación neta y tala ilegal a cero, reducción de emisiones de GEI en 47,5% respecto al cambio de uso de la tierra** por conservación de 54 millones de hectáreas de bosques primarios. Para dicha meta planteada el **PLANAA define como responsables de desarrollar la línea de base sobre deforestación al MINAG (DGFFS), MINAM y GR**; asimismo la reducción en 10% de las emisiones de GEI y los estudios sobre vulnerabilidad frente al cambio climático y otras metas son igualmente de responsabilidad compartida entre el MINAM y otros sectores.
- El PLANAA en relación a la **Meta 7: Gobernanza Ambiental**, define metas específicas sobre la consolidación del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) brindando el acceso libre y efectivo a la información, siendo responsables el MINAM, los otros sectores del gobierno central y los gobiernos regionales. **El Sistema de Información Geográfica del MINAM (SIGMINAM) es parte principal del SINIA.**
- El Art. 133 de Ley General del Ambiente (Ley 28611), señala que **la Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para el desarrollo de las acciones de vigilancia y Monitoreo.** La vigilancia y el monitoreo tiene como fin generar la información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental.
- El Decreto Supremo N°012-2009-MINAM que aprueba la Política Nacional del Ambiente, incorpora en los diferentes ejes de la política **la necesidad de la vigilancia y monitoreo como parte de los mecanismos para la gestión** adecuada de los recursos naturales y de la calidad ambiental.

b. Articulación de las actividades realizadas por la DGOT con otras acciones de MINAM

El desarrollo de estas acciones realizadas desde la DGOT con participación de otras direcciones generales, se articula y ofrece soporte para los siguientes proyectos e iniciativas del MINAM:

- Procesos de zonificación ecológica económica que la DGOT viene asesorando y dando asistencia técnica en todo el territorio nacional y especialmente en el ámbito de la Amazonía.
- PLANAA; Bosques y Cambio Climático; acciones estratégicas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.6. Minería y Energía, acción estratégica 6.1; Gobernanza Ambiental, acción 7.1, 7.4, 7.11, 7.12, 7.19.
- Proyecto Inventario Nacional Forestal y Desarrollo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático. Proyecto MINAM-MINAG-FAO/FINLANDIA.
- Proyecto “Fortalecimiento de Capacidades técnicas y científicas para la Implementación de REDD en el Perú”.
- Proyecto “Monitoreo de la Deforestación, Aprovechamiento Forestal y Cambios de Uso del Suelo en el Bosque Pan Amazónico”. Proyecto OTCA/ITTO.
- Proyecto “Análisis de las dinámicas de cambios de la cobertura de la tierra en los países de la CAN”.
- Cooperación Financiera No Reembolsable del Gobierno del Japón “Iniciativa Hatoyama”.
- Proyecto de Inversión Pública para el “Mejoramiento de capacidades del sector público y de la sociedad civil para la gestión de la conservación de los bosques para mitigar el cambio climático”. Programa de Inversiones del PNCB.
- Comité Técnico Consultivo de Ordenamiento Territorial.
- Comité Nacional de Lucha contra la Desertificación (CONALDES).
- Comité Coordinador Permanente de la Infraestructura de Datos Espaciales del Perú (CCIDEP).
- Comité Técnico REDD y RPP aprobado en la reunión de Vietnam, marzo 2011.



Ministerio del Ambiente
Av. Javier Prado Oeste N 1440
San Isidro, Lima. Perú
Central Telefónica (+511) 611 6000
Línea verde: 0800 -00- 660
Fax: (+511) 611 6034
www.minam.gob.pe

