



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Memoria Técnica



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

Periodo 2009 - 2010 - 2011



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 2009-2010-2011

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

52 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 2009-2010-2011

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 - 02643

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 2009 - 2010 - 2011

EQUIPO TÉCNICO

MANUEL GERARDO PULGAR-VIDAL OTÁLORA

Ministro del Ambiente

GABRIEL QUIJANDRIA ACOSTA

Viceministro de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

ADRIÁN FERNANDO NEYRA PALOMINO

Director General de Ordenamiento Territorial

Equipo Técnico DGOT- MINAM

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

Asesoramiento Técnico-Científico

- | | |
|---|---|
| • Instituto CARNEGIE para la Ciencia | Departamento de Ecología Global |
| • Gregory P. Asner | Investigador Principal |
| • Jonh K. Clark & Raúl Tupayachi | Coordinador de Convenio CARNEGIE-MINAM |
| • Dave Knapp | Procesamiento de Imágenes |
| • Sinan Sousan | Programador y Líder en Árboles de Decisión |
| • Paola Pérez | Técnica Principal análisis con Sensores Remotos |
| • Chris Anderson, Robin Martin,
Ty Kennedy-Bowdoin | Analizadores de Mapa y auditores |

Cita sugerida:

Llactayo, W; Salcedo, K; Victoria, E. 2013. Memoria Técnica de la Cuantificación de Cambios de la Cobertura de Bosque a no Bosque por Deforestación en el Ambito de la Amazonía Peruana Período 2009-2010-2011. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Ordemaniento Territorial. Lima - Perú.

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. FUNDAMENTO DEL ANÁLISIS DE LA COBERTURA DE BOSQUE, DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN CON SENSORES REMOTOS.....	15
4.1 Definición	15
4.2 Aplicación del análisis de mezcla espectral.	16
4.3 Definición operativa de degradación.....	17
5. METODOLOGÍA APLICADA	18
5.1 Revisión y selección de imágenes LANDSAT 5 y LANDSAT 7 con corrección L1T.	18
5.2 Corrección radiométrica y atmosférica de imágenes seleccionadas..	19
5.3 Análisis de compuestos por píxeles para la generación de mosaicos de imágenes de reflectancia y de cobertura fraccional libre de nubes y sombras.....	20
5.4 Aplicación de criterios para la definición de Bosque/No Bosque.....	21
5.5 Aplicación de criterios para definición de cambio: deforestación y Degradación.....	21

6. RESULTADO DE LA CUANTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA DE BOSQUES POR DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONÍA PERUANA, PERIODO 2009-2010-2011	23
6.1 Cobertura de cambio de bosque a no bosque por deforestación en el periodo 2009-2010; 2010-2011: Deforestación Absoluta, Deforestación Anual y Tasa Promedio de Deforestación.....	24
6.2 Análisis de la cobertura de cambio de bosque a no bosque por deforestación en regiones representativas de la Amazonía Peruana, en el periodo 2009-2010; 2010-2011.....	25
6.3 Mapa de Cambio de Bosque a no Bosque por Deforestación de la Amazonía Peruana para el periodo 2009-2010-2011... ..	29
7. REFERENCIA PARA LA VALIDACIÓN DEL ANÁLISIS DE COBERTURA DE BOSQUE A NO BOSQUE POR DEFORESTACIÓN	30
7.1 Mapa de Cambio de Bosque a No Bosque por Deforestación de la Amazonía Peruana para el Periodo 2009-2010-2011	30
7.2 Protocolo de validación de los resultados del análisis de deforestación 2009-2010-2011	32
8. MONITOREO TERRITORIAL DEL PERÚ A TRAVÉS DEL OBSERVATORIO AÉREO DE CARNEGIE - CAO	33
9. UTILIDAD Y APLICACIÓN DE LA INFORMACIÓN GENERADA.....	34
9.1 Incorporación en instrumentos técnicos, de gestión y normativos	34
9.2 Incorporación en: Procesos participativos.....	35
10. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS.....	36
11. APORTES Y COMENTARIOS DE OTROS SECTORES QUE CONTRIBUYERON CON SUS APORTES A LA GENERACIÓN DE LOS NUEVOS DATOS PARA EL PERIODO 2009-2010-2011.....	37
12. ACCIONES REALIZADAS Y PENDIENTES.....	38
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
13.1 Conclusiones.....	39
13.2 Recomendaciones.....	40
REFERENCIAS	40
ANEXOS	
Anexo 1. Resultados detallados del proceso de de los datos de campo para la validación del análisis 2000-2005-2009.	43
Anexo 2. Marco Normativo	44
Anexo 3. Aspectos a tener en cuenta para la descripción del método aplicado por MINAM en el Análisis de Cobertura de Bosque y deforestación con sensores remotos	48

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

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.

sobre las dinámicas de cambio de la cobertura del bosque de la Amazonía Peruana, teniendo en consideración el 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\$
HATAYAMA	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. FUNDAMENTO DEL ANÁLISIS DE LA COBERTURA DE BOSQUE, DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN CON SENSORES REMOTOS

4.1 DEFINICIÓN

El fundamento para analizar las imágenes de sensores remotos con fines de determinar cobertura boscosa y los cambios en la cobertura que pueden reflejar procesos de deforestación o cambios por procesos naturales, se basa en el **Análisis de Mezcla Espectral (SMA)**. El SMA es un medio para extraer desde los datos de reflectancia de una imagen, información que modela la cobertura de la tierra a nivel de pixel que sea representativo de las propiedades físicas de la superficie de la tierra en fracciones de tipos puros de cobertura denominado endmembers que quedan definidos por las longitudes de ondas detectadas y el número de bandas del sensor.

Algunos estudios demuestran (Small 2004) que la mayoría de las variaciones en imágenes LANDSAT (mayor al 98%) se pueden representar como una combinación de 03 miembros más puros (endmembers); de esta manera se puede representar 03 medidas o fracciones (análisis de coberturas fraccionales) que puedan caracterizar estas variaciones espectrales a nivel de 01 pixel en una imagen satelital.

El **análisis de cobertura fraccional** es un proceso realizado por CLASlite 3.0, a través de la aplicación del algoritmo de mezcla conocido como AutoMCU (Montecarlo) desarrollado por CARNEGIE, que es un análisis de mezcla espectral basado en un enfoque probabilístico de las características del dosel del bosque⁴. Este análisis se realiza para cada pixel de la imagen (**Figura 1**), 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.

Todos los sistemas de análisis espectral se basan en la siguiente ecuación:

$$R_{\text{pixel}} = \sum (C_x \times R_x) + \epsilon$$

Donde, R_{pixel} es el valor de reflectancia del píxel y que es registrado por el sensor, C_x es la cobertura fraccional de Vegetación Fotosintética (VF), No Fotosintética (VNF) o Superficie Descubierta (S) de cada material de la superficie (x), en cada caso los valores van de 0.0 a 1.0. R_x son las propiedades de reflectancia y está representado por una librería de firmas espectrales de cada material; y finalmente es el error.

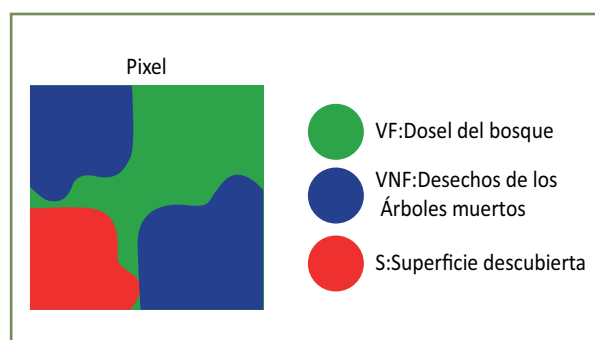


FIGURA 1: El análisis de cobertura fraccional, a través del proceso asistido CLASlite, determina las fracciones de cobertura dentro de un pixel de la imagen satelital. Estas fracciones son expresadas en porcentaje de Vegetación Fotosintética (VF), Vegetación no fotosintética (VNF) o Superficie descubierta (S).

4. 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 híper espectrales.

4.2 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE MEZCLA ESPECTRAL

El Sistema de procesamiento de imágenes para el análisis de cobertura de bosque, deforestación y degradación forestal se basa en 02 componentes: Las Bibliotecas espectrales y el algoritmo de mezcla espectral Montecarlo o AUTOMCU; ambos se encuentran comprendidos en la herramienta Claslite 3.0, que es el software desarrollado para estos propósitos.

Claslite tiene 03 bibliotecas de firmas espectrales para VF (vegetación Fotosintética), VNF (Vegetación No Fotosintética) y S (Suelo). La biblioteca de VF fue desarrollada usando imágenes colectadas por el sensor hiperspectral llamado Hyperion, las bibliotecas de VNF y S fueron colectadas desde 1996 usando espectrómetros de campo (alrededor de 400,000

firmas) que miden la reflectancia de la superficie en bandas cada 2 nanómetros desde los 400-2500 nm.

Teniendo en consideración estos componentes, el enfoque de análisis de mezcla espectral Monte Carlo, selecciona aleatoriamente espectros de la biblioteca de VF, VNF y S y los compara con el registro espectral proveniente del pixel de la imagen satelital para resolver la ecuación de combinación espectral (**Figura 2**).

El proceso de selección aleatorio de VF, VNF y S de cada biblioteca es repetido muchas veces en cada pixel, solucionando así la ecuación. Tanto la media y la desviación estándar de cada iteración es registrado como la respuesta para cada pixel (**Figura 3 y 4**).

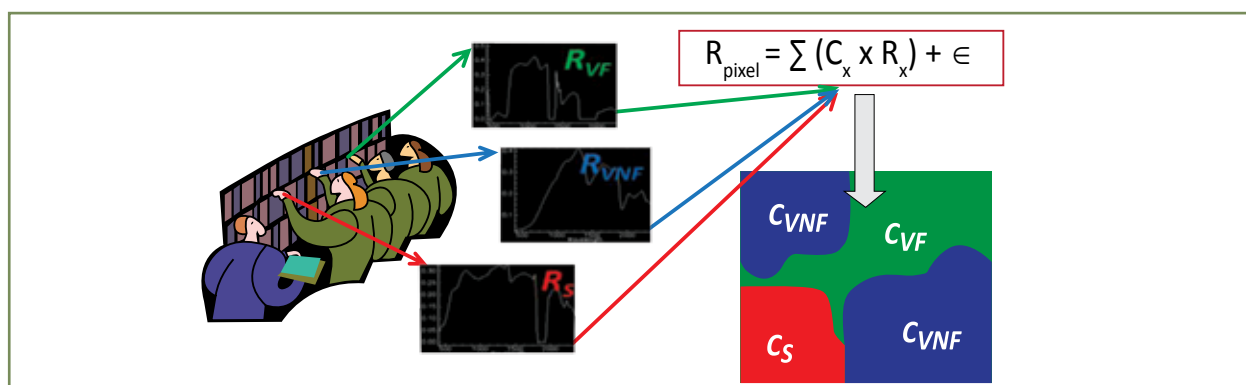


FIGURA 2: El análisis de mezcla espectral es un enfoque probabilístico que descifra el pixel de una imagen en fracciones a nivel de sub pixel que representa cuantitativamente la actividad fotosintética, no fotosintética y de suelo.

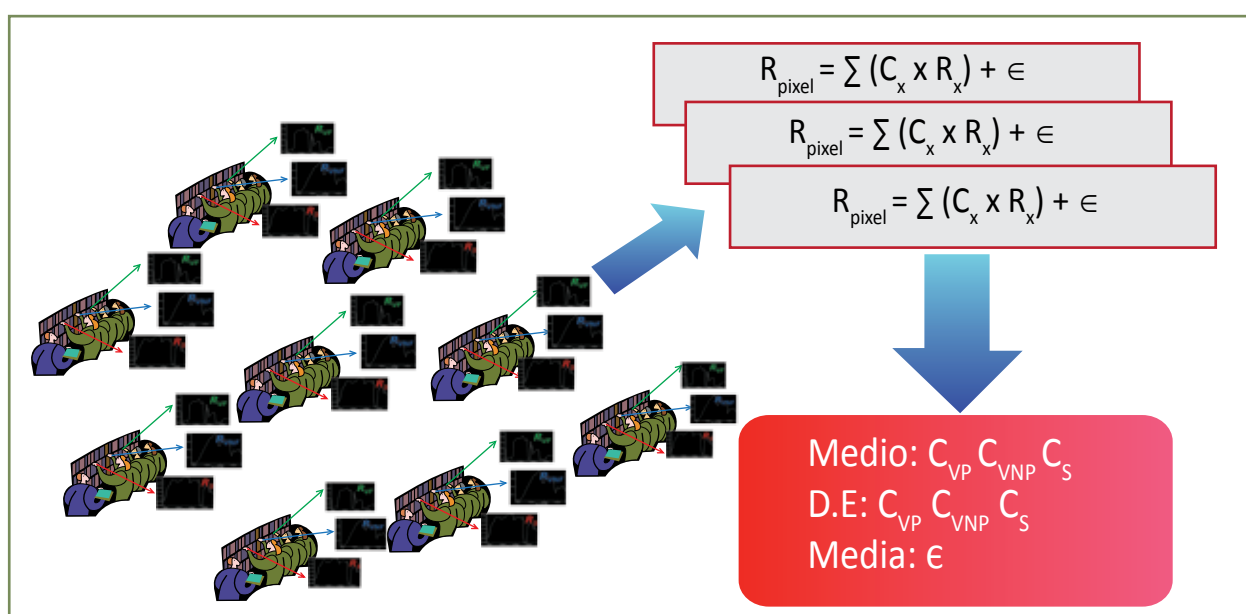


FIGURA 3: El análisis de mezcla espectral también arroja resultados cuantitativos de la Desviación Estándar y el Error Medio Cuadrático (RMS); lo cual es una medida de la certidumbre de los resultados.

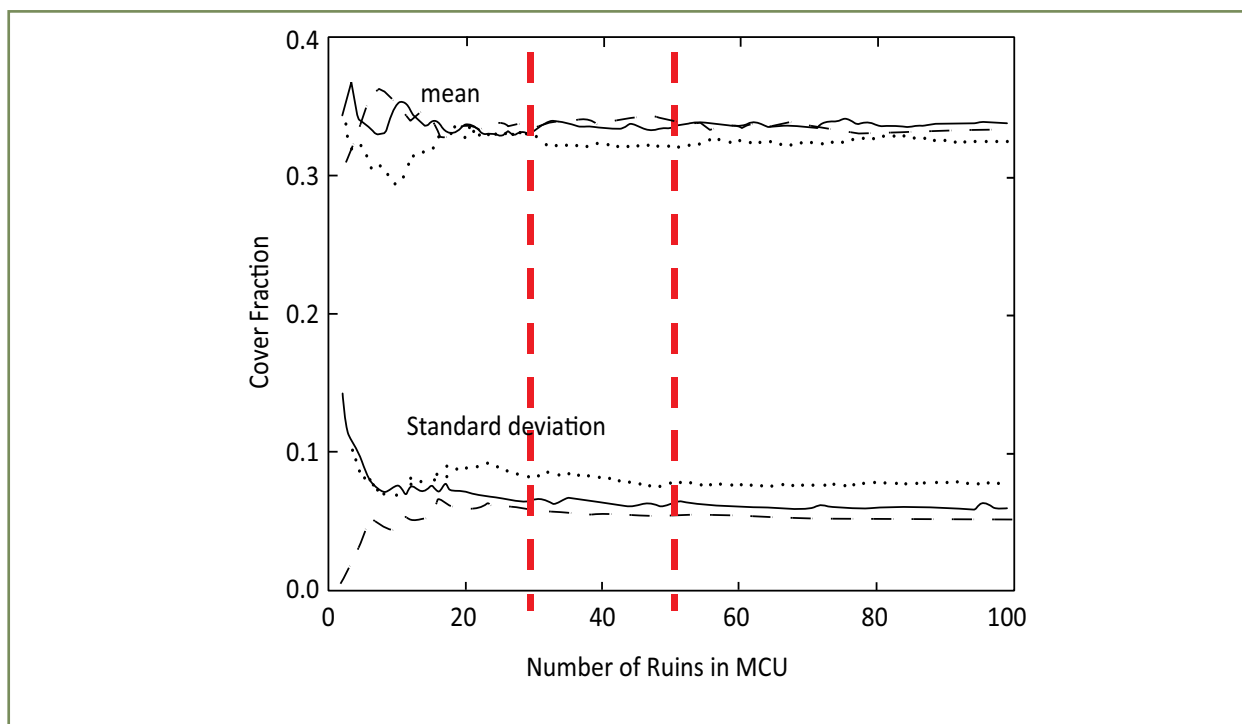


FIGURA 4: La precisión del análisis y de su sistema de procesamiento está ligado al número de veces que un pixel es analizado, en nuestro caso se ha demostrado que 50 iteraciones en cada pixel reduce significativamente la Desviación Estándar y la Media.

4.3 DEFINICIÓN OPERATIVA DE DEGRADACIÓN

El resultado de la aplicación del análisis de mezcla espectral con el uso de CLASlite, provee de una serie de resultados, los mismos que se mencionan a continuación:

- Imágenes de reflectancia calibrada; provee de bandas espectrales calibradas de datos brutos a datos de reflectancia de superficie en donde se ha corregido tanto radiométrica como atmosféricamente la imagen.
- Imágenes de cobertura fraccional; constituyen el insumo principal para la clasificación de bosque-no bosque; deforestación y degradación forestal. Cada imagen de cobertura fraccional indica la presencia de vegetación viva (**VF**), vegetación muerta (**VNF**) y superficie descubierta (**S**) a nivel subpixel.
- Imágenes de incertidumbre, que contiene a nivel de pixel las desviaciones estándar del porcentaje de cobertura promedio de las tres fracciones VF, VNF y S.
- Imagen de Error Total, que es expresado como el error promedio cuadrático (RMS). Un pixel con un error total menor o igual a la solución CLASlite probablemente es buena, en tanto que un Error Total mayor o igual que la solución de CLASlite no es buena y se debe descartar o usarse con cuidado.
- Imagen de Cobertura Boscosa, identifica áreas de bosque-no bosque a través de la aplicación de un árbol de decisión.
- Imagen de Deforestación, detecta el cambio entre 2 o más imágenes de cobertura fraccional identificando la pérdida de cobertura boscosa (deforestación o cambios naturales);
- Imagen de Degradación, detecta cambios entre 2 o más imágenes producidos por la perturbación forestal.

5. METODOLOGÍA APLICADA

El análisis de cambio de cobertura de bosque a no bosque por deforestación se aplicó sobre una superficie de 78'469,220 has, que corresponde al ámbito de la Amazonía Peruana⁵, cubierto por 42 escenas de imágenes del satélite LANDSAT y 02 escenas de MODIS TERRA para cada uno de los años 2000, 2005, 2009, 2010 y 2011 (Figura 5).

En términos generales el método aplicado comprende los siguientes pasos:

- Revisión y selección de imágenes LANDSAT 5 Y LANDSAT 7 con corrección L1T.
- Corrección radiométrica y atmosférica de imágenes seleccionadas;
- Analisis de compuestos por pixeles para la generación de mosaicos de imágenes de reflectancia y de cobertura fraccional libre de Nubes y sombras.
- Aplicación de criterios para definición de Cobertura de Bosque-No Bosque.
- Aplicación de criterios para definición de cambio: Deforestación y Degradación.

Estos pasos se detallan a continuación:

5.1 REVISIÓN Y SELECCIÓN DE IMÁGENES LANDSAT 5 Y LANDSAT 7 CON CORRECCIÓN L1T

Para el análisis del periodo 2009-2010-2011, se definió el empleo de imágenes LANDSAT con proceso de corrección L1T el cual será también aplicado en la actualización del análisis del periodo 2000-2005-2009.

El producto de imagen L1T de LANDSAT, utiliza puntos de control terrestre (GCP) y modelos de elevación digital (DEM) para alcanzar la absoluta precisión geodésica. De acuerdo a las especificaciones técnicas del producto, se emplea el elipsoide WGS84 como modelo de transformación de coordenadas al Universal Transversal de Mercator (UTM). Asociado con la proyección UTM, hay un conjunto único de parámetros de proyección que el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) aplica para la Transformación

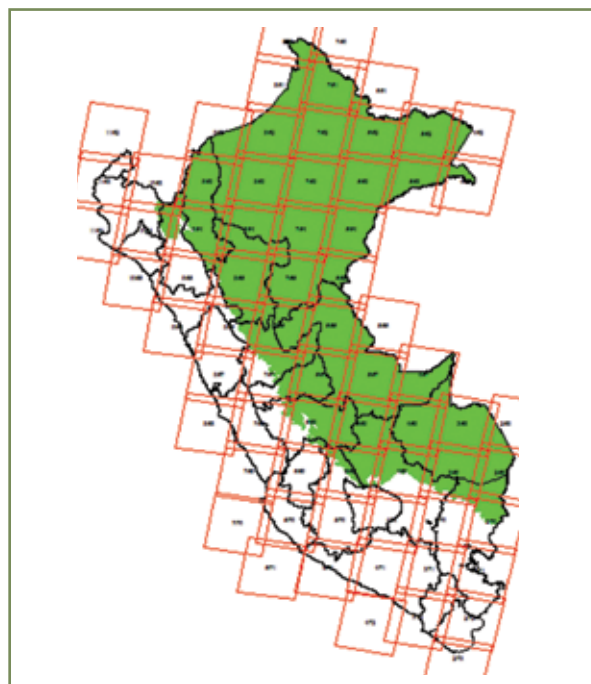


FIGURA 5: Se revisaron y seleccionaron más de 12,500 imágenes LANDSAT TM y ETM de las 42 escenas que cubren el área de análisis para cada uno de los años 2000, 2005, 2009, 2010, 2011. Las imágenes MODIS fueron empleadas para cubrir pixeles sin información bajo un proceso de análisis estadístico de las respuestas espectrales y fracciones de VF, VNF y S a 30 mts.

Cartográfica. El resultado final es un producto rectificado geométricamente libre de las distorsiones relacionadas con el sensor (efecto de ángulo de vista, efectos o distorsiones de las señales "jitter"), con el satélite (por ejemplo, la actitud de las desviaciones nominales) y de la Tierra (efectos de la rotación, la curvatura y el relieve del terreno).

De todas formas, la precisión geodésica del producto L1T depende de la exactitud de los puntos de control y resolución de los archivos DEM utilizado. El Levantamiento Global de la Tierra del 2005 se utiliza como fuente de los puntos de control, mientras que los datos sobre terreno provienen del Shuttle Radar Topographic Mission DEM (SRTM).

5. El ámbito de la Amazonía Peruana que se consigna corresponde a la superficie calculada mediante SIG (ARCGIS 9.3) y comprende los departamentos de Loreto, Amazonas, San Martín, Huánuco, Pasco, Ucayali, Junín Cuzco, Madre de Dios y en menor proporción Puno, Cajamarca y Ayacucho.

Los datos específicos del producto L1T son:

- Correction level - L1T
- Pixel Size - 15, 30, 60 meters for panchromatic, VNIR/SWIR, and thermal
- Resampling kernel - Cubic Convolution (CC)
- Map projection – UTM
- Ellipsoid - WGS84

- Image orientation - north up
- Output format - GeoTIFF
- File transfer protocol (FTP) download only

Se utilizó un conjunto grande de escenas de imágenes LANDSAT TM y ETM que abarcaron alrededor de 12 mil archivos para los años 2000, 2005, 2009, 2010 y 2011, los mismos que fueron revisados y seleccionados a fin de usar la mejor información.

5.2 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA Y ATMOSFÉRICA DE IMÁGENES SELECCIONADAS

Todas las imágenes trabajadas en el análisis, fueron calibradas radiométricamente con el fin de usar cuantitativamente la data registrada en cada pixel de las imágenes. Este tipo de calibración ayudó a eliminar los errores del funcionamiento del sistema sensor, convirtiendo los valores digitales brutos a unidades de energía usando los factores de conversión facilitado por los proveedores de las imágenes, en nuestro caso los parámetros provienen del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Una vez obtenidos los valores radiométricos, se aplicaron datos atmosféricos para calcular los valores de reflectancia de la imagen y efectuar la corrección atmosférica.

La aplicación de la herramienta CLASlite 3.0 permite hacer la corrección radiométrica y atmosférica, en

este último caso usando el modelo de corrección “6S” (E. F. Vermote, 1997)⁶ a través del cual se convierten las imágenes brutas a **imágenes de reflectancia**. La corrección atmosférica minimiza los efectos del vapor de agua, aerosoles y polvo atmosférico en las imágenes, modelando las condiciones atmosféricas en cada una, en cuyos casos se simula cómo la luz pasa a través de la atmósfera, interactúa con la superficie terrestre y viaja de regreso al sensor satelital. Las medidas satelitales del vapor de agua y aerosoles para nuestro caso provienen del sensor MODIS de NASA.

Con el proceso de corrección radiométrica y atmosférica se pudieron generar mosaicos satelitales para los años 2009, 2010 y 2011 (**Figuras 6a, 6b, 6c**).

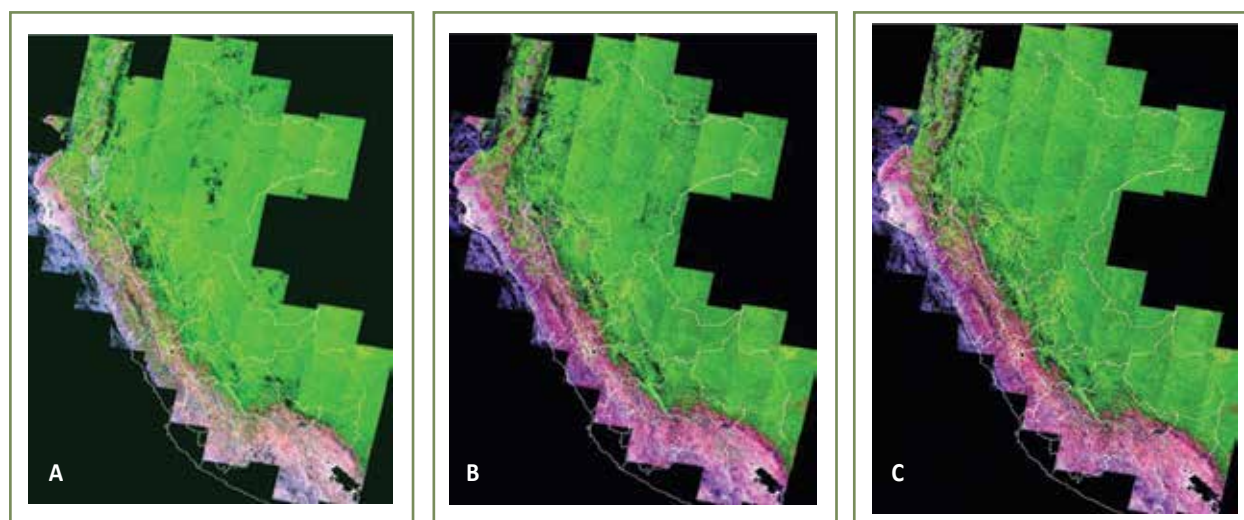


FIGURA 6: A. Mosaico ortorectificado 2009 (Imágenes L1T de LANDSAT), corregidas radiométrica y atmosféricamente. B y C. Mosaico ortorectificado 2010 y 2011 respectivamente (Imágenes L1T de LANDSAT), corregidas radiométrica y atmosféricamente.

6. 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.

5.3 ANÁLISIS DE COMPUESTOS POR PÍXELES PARA LA GENERACIÓN DE MOSAICOS DE IMÁGENES DE REFLECTANCIA Y DE COBERTURA FRACCIONAL LIBRE DE NUBES Y SOMBRAS

La generación de mosaicos de imágenes de reflectancia y mosaicos de cobertura fraccionales libre de nubes y sombras, corresponde un avance en la metodología de análisis de deforestación y degradación forestal, por cuanto ayuda a producir datos más precisos y cercanos a la realidad.

Este análisis de compuestos por pixel comprendió los siguientes subprocesos:

- Descarga automática del banco de imágenes de USGS, en este caso se descargaron alrededor de 12 mil imágenes.
- Revisión de imágenes y selección de los mejores path/row por año; lo que implicó la reducción de 12 mil a 4748 escenas; 1,019 para el año 2011, 856 para el año 2010, 922 para el año 2009, 884 para el año 2005 y 1067 para el año 2000, esta revisión y selección consideró criterios como porcentaje de nubes, fecha, estacionalidad, entre otros.
- Obtención de imágenes de reflectancia para más de 4 mil escenas, con aplicación del algoritmo 6S para corrección radiométrica y atmosférica de Claslite 3.0.
- Generación de imágenes de cobertura fraccional para el mismo conjunto de imágenes aplicando el algoritmo de análisis de mezcla espectral AUTOMCU incluido en Claslite 3.0.
- Generación de Índices Normalizados de Vegetación (NDVI) para todos los path/row y obtención de valores promedios con el fin de comparar los NDVI a nivel de pixel y seleccionar aquellos pixeles más representativos y componer de esta manera los mosaicos de imagen de reflectancia casi libre de nubes para los años 2000, 2005, 2009, 2010 y 2011. El NDVI promedio es un buen indicador para determinar las propiedades de la vegetación.
- Selección de los mejores píxeles de cobertura fraccional usando la ubicación del mejor pixel de la imagen de reflectancia, con lo cual se general un mosaico de cobertura fraccional correspondiente al mosaico de reflectancia.
- Extracción de las áreas sin información de los mosaicos de cobertura fraccional de todos los años, que aún hayan quedado como remanentes de todo el proceso anterior con el fin de completar con información de coberturas fraccionales de imágenes MODIS. En este caso se producen pixeles de cobertura fraccional de imágenes MODIS de las fechas correspondientes al mismo periodo de año del mosaico y analizados por NDVI y luego son re-escalados a 30 mts de resolución a fin de completar las áreas sin información del Mosaico de Coberturas Fraccionales de LANDSAT para cada año. En este caso, a diferencia de los mosaicos de imágenes de reflectancia, los mosaicos de cobertura fraccional son libres de nubes y sombras para todos los años (Figura 7 a, b y c).

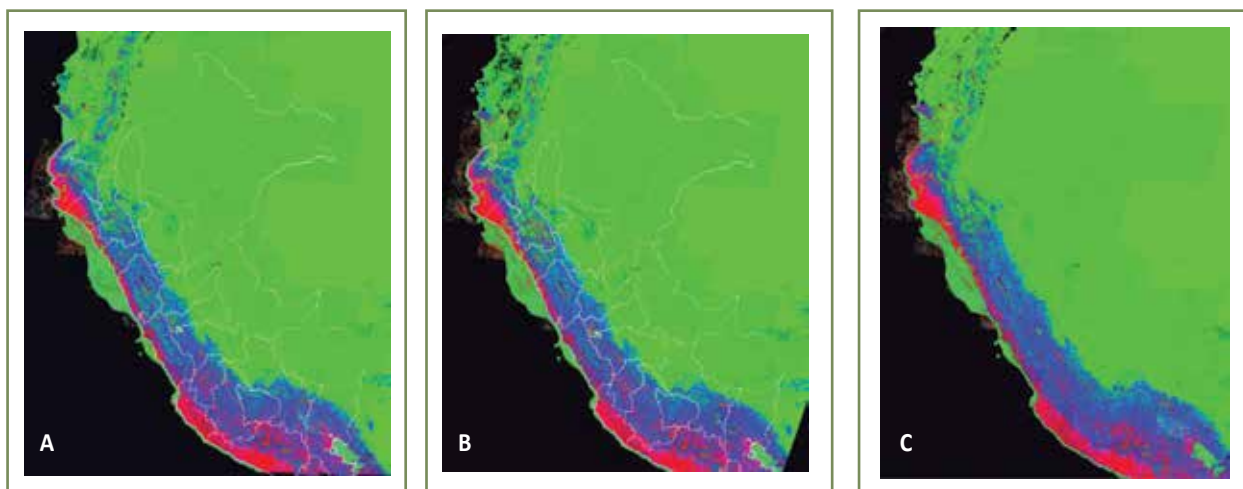


FIGURA 7: A. Cobertura Fraccional libre de sobras y nubes 2009, B. Cobertura Fraccional libre de sombras y nubes 2010. C. Cobertura Fraccional libre de sombras y nubes 2011.

5.4 APLICACIÓN DE CRITERIOS PARA DEFINICIÓN DE COBERTURA DE BOSQUE/NO BOSQUE

La **definición de cobertura de bosque/no bosque**, en términos operativos 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 $S < (\text{umbral} \approx 15-20\%)$. 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.*, “pacal” *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 8.

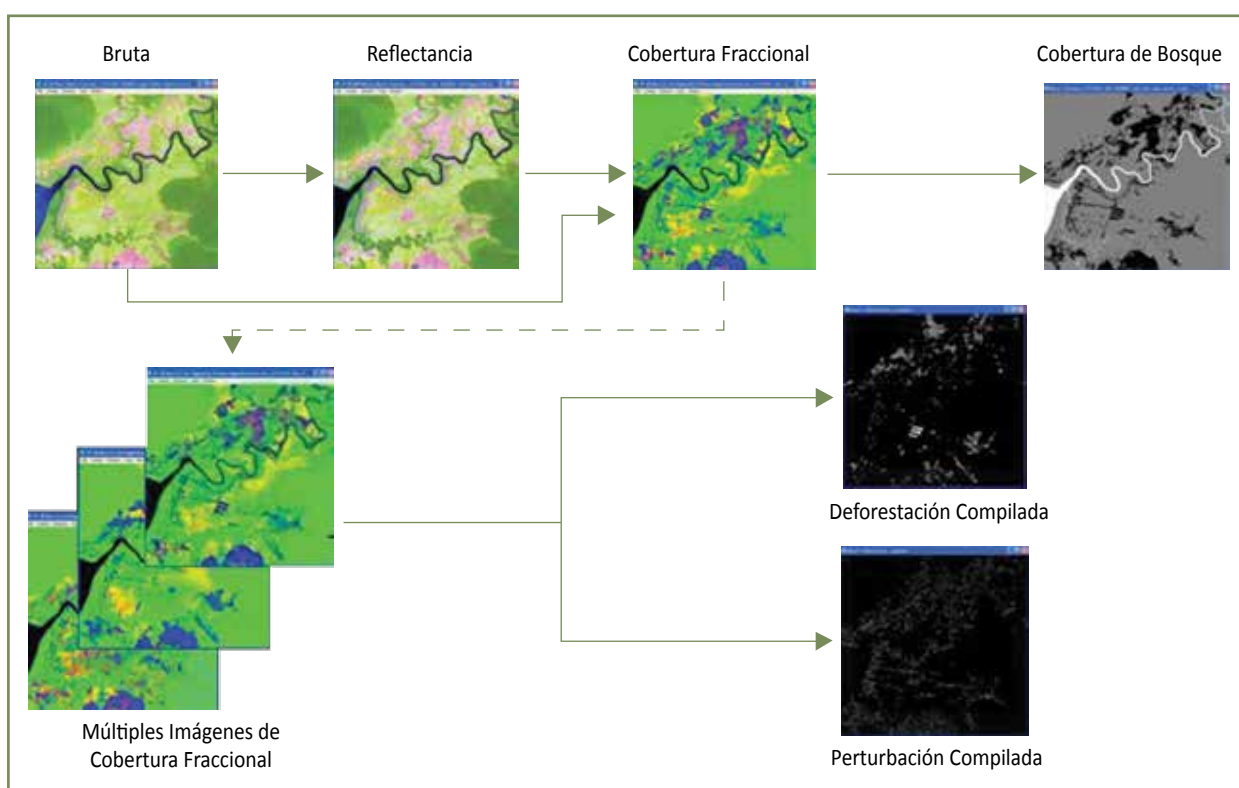


FIGURA 8: Proceso que muestra los pasos para la obtención de la cobertura de bosque, deforestación y perturbación con la aplicación de CLASlite.

5.5 APLICACIÓN DE CRITERIOS PARA DEFINICIÓN DE CAMBIO: DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN

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 pérdida de cobertura

boscosa y los que registran degradación en términos de perturbación tanto de índole antrópico (Deforestación) como natural (p.e caída de árboles)⁷. En este caso **la definición operativa de cambio de bosque a no**

7. 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.

bosque o pérdida de cobertura boscosa considera una reducción en las fracciones de **VF** y un incremento de **S** y **VNF** 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**.

Los árboles de decisión en este caso están definidos por los siguientes parámetros:

Definición Operativa de Deforestación:

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

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

OR $((VF1 < 80) \text{ AND } ((VNF1 - VNF0 \geq 20)))$

Definición operativa de Degradación (Perturbación):

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

Detección de falsos positivos:

$((VF0 \leq 0) \text{ AND } (VNF0 \leq 0) \text{ AND } (S0 \leq 0))$

OR $((VF1 \leq 0) \text{ AND } (VNF0 \leq 0) \text{ AND } (S0 \leq 0))$

OR $((VF0 < 80) \text{ OR } (S0 \geq 15))$

OR $((VF0 \geq 80) \text{ AND } (VNF0 \geq 35) \text{ AND } (RMSE0 \geq 6))$

OR $((VF1 \geq 80) \text{ AND } (VNF1 \geq 35) \text{ AND } (RMSE1 \geq 6))$

OR $(S1 \geq 50))$

A partir de este análisis, se obtienen los mapas de cambio por pérdida de cobertura (deforestación y cambios naturales), así como degradación 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 y bosque en recrecimiento⁸. Se trata de un análisis comparativo de la evolución del bosque a partir de un año base y teniendo en cuenta los periodos de cambio para identificar el recrecimiento del bosque por regeneración natural o procesos de intervención. **Esto es un producto que posibilitará analizar los balances netos de pérdida y recuperación del bosque.**

8. 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.

6. ANÁLISIS DEL RESULTADO DE LA CUANTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA DE BOSQUES POR DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONÍA PERUANA, PERIODO 2009-2010-2011

Tal como se ha señalado en el ítem 3.5, a partir de los resultados del análisis de imágenes satelitales y la utilización de definiciones operativas (árboles de decisión) para la determinación de cobertura de bosque y cambios de bosque a no bosque, con un nivel de detalle igual a 0.09 has (equivalente a 1 pixel de 30mts), se ha realizado un control visual con el fin de separar los cambios de la cobertura de bosques por deforestación; de esta manera consideramos los siguientes resultados:

- a. Cobertura de cambio de bosque a no bosque por deforestación en el periodo 2009-2010 y 2010-2011: Deforestación Absoluta, Deforestación Anual y Tasa Promedio de Deforestación.

- b. Cobertura de cambio de bosque a no bosque por deforestación por Regiones Representativas de la Amazonía Peruana.
- c. Mapa de Cambio de bosque a no bosque por deforestación de la Amazonía Peruana para el periodo 2009-2010-2011.

Cabe señalar que el nivel de detalle de la información generada, permite realizar ajustes en diferentes Unidades Mínimas de Mapeo para diferentes escalas de representación cartográfica; asimismo estos resultados permiten satisfacer los requerimientos de las definiciones conceptuales tanto de bosque como de deforestación^{9,10} dado que los datos de coberturas fraccionales (VF, VNF y S) a nivel de pixel, así como la clasificación de estas fracciones se relacionan con las características biofísicas del dosel arbóreo.

9. 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.

10. *Deforestación* es la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del diez por ciento (FAO 2005), Informe de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales, Términos y Definiciones. La La CNUCC (2002) define deforestación como “la conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierras no forestales”, Informe de la Conferencia de las Partes 7mo Periodo de Sesiones celebrado en MarraKech en noviembre del 2001, adición sobre medidas adoptadas por la Conferencia, FCCC/CP/2001/13/Add.1

6.1 COBERTURA DE CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE POR DEFORESTACIÓN EN EL PERIODO 2009-2010; 2010-2011: DEFORESTACIÓN ABSOLUTA, DEFORESTACIÓN ANUAL Y TASA PROMEDIO DE DEFORESTACIÓN

El Cuadro N° 2, muestra que para el ámbito de la Amazonía Peruana la Deforestación Anual en el periodo 2009-2010 fue de 108,572 has, mientras que en el periodo de análisis 2010-2011 la pérdida de bosques por deforestación fue de 103,380 has. De otro lado, la suma de los 02 periodos analizados nos da idea de la Deforestación Absoluta o acumulada que para el periodo 2009 al 2011 fue de 211,952 has, y la Tasa Promedio de Deforestación se calculó en 105,976 has/año (véase Cuadro N° 2 y Gráfico 1).

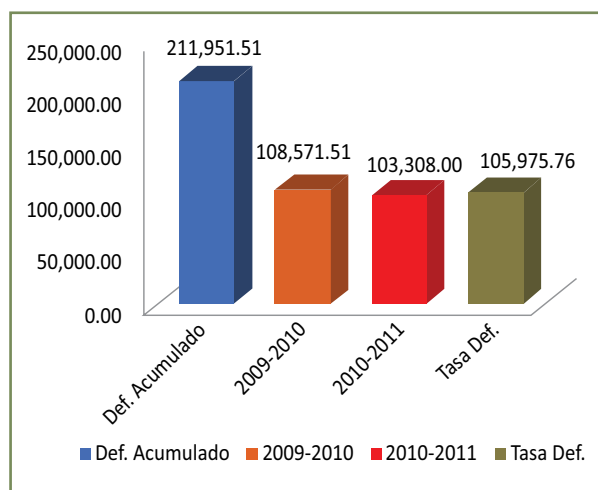


GRÁFICO 1: Deforestación Absoluta (Acumulada), Deforestación Anual del periodo 2009-2010 y 2010-2011 y Tasa promedio de Deforestación del Ámbito Amazónico.

La cifra de Tasa Promedio de Deforestación para la Amazonía es comparativamente más baja que la determinada para el periodo de 1990-2000 reportado por PROCLIM (2006) que fue de 149 631,76 ha/año. Esta diferencia debe ser vista como producto de un análisis de un periodo corto de los últimos 03 años, en cuyo caso se registra la tasa real de deforestación del 2009-2010-2011, en tanto el promedio usado como referente (PROCLIM) fue calculado para un periodo más largo de 10 años. Próximamente se tendrá una corrida de la metodología para conocer los indicadores de deforestación para el periodo de 11 años que corresponde del 2000 al 2011 y que se encuentra en proceso, en cuyo caso hará factible la confirmación de una hipótesis de un descenso, aumento o mantenimiento de la curva de deforestación.

En general, en la Amazonía Peruana la deforestación está vinculada a procesos de desarrollo que involucran el aprovechamiento de recursos naturales. En ese sentido, uno de estos aspectos vinculados con la pérdida de la cobertura boscosa es el desarrollo de los grandes proyectos viales y otros ejes de gran flujo comercial y de poblaciones. De los resultados generales presentados en el Gráfico 2 las diferencias entre la deforestación anual del periodo 2009-2010 y 2010-2011 se deben a que regiones como San Martín, Ucayali, Huánuco o Pasco acusaron menor deforestación en el último periodo analizado.

Ámbito	Deforestación anual (has)		Deforestación absoluta (has)	Tasa prom. de deforestación (ha/año)
	2009-2010	2010-2011		
Amazonía	108,571.51	103,380.00	211,951.51	105,975.76

CUADRO 2: Cuadro de Resultados del Análisis de Deforestación para el periodo 2009-2010-2011; ámbito Amazonía: Deforestación Absoluta, Deforestación Anual y Tasa Promedio de Deforestación.

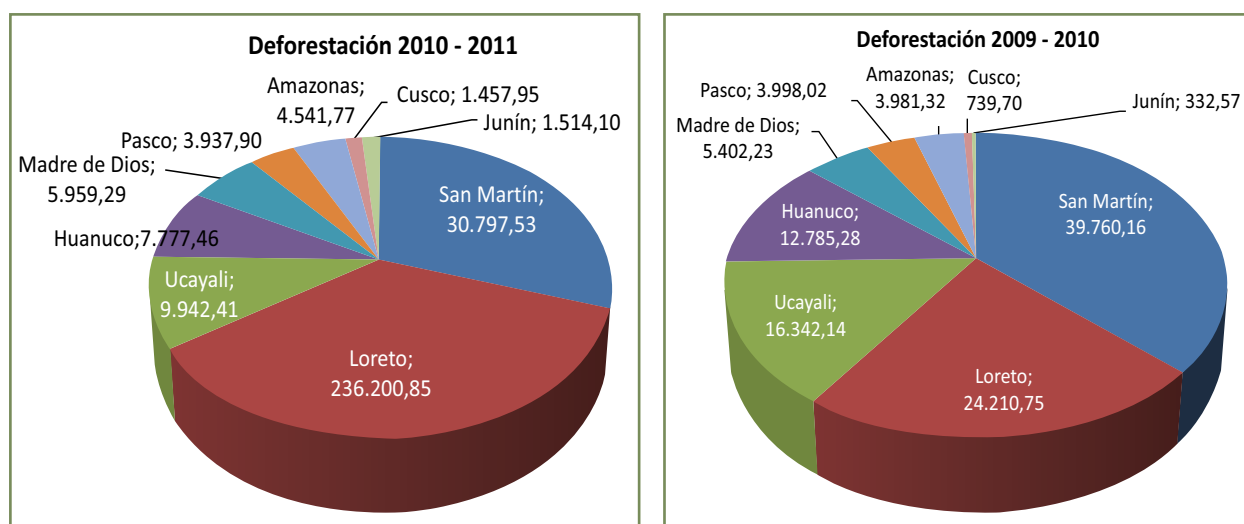


GRÁFICO 2: Comparación de la deforestación anual de regiones amazónicas representativas.

6.2 ANÁLISIS DE LA COBERTURA DE CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE POR DEFORESTACIÓN EN REGIONES REPRESENTATIVAS DE LA AMAZONÍA PERUANA, EN EL PERIODO 2009-2010; 2010-2011

El **Cuadro 3**, muestra 09 regiones más representativas de la Amazonía Peruana teniendo en cuenta la proporción de la superficie de ámbito amazónico que comprenden sus territorios, de los cuales 04 de ellos, en este caso San Martín, Loreto, Ucayali y Huánuco presentan las tasas promedio de deforestación más altas en el periodo de análisis 2009-2010-2011, situación que puede ser explicado por ser las áreas donde se mantiene una mayor incidencia de proyectos viales como IIRSA Norte, Centro y SUR, Carretera Iquitos-Nauta y ejes fluviales de la Selva de importancia económica, o los proyectos agroindustriales de Palma en Loreto y San Martín, así como la expectativa de proyectos hidroeléctricos y gasíferos (Figura 9).

En el caso de la región Loreto, la deforestación va en aumento especialmente en zonas comprendidas en la Provincia de Alto Amazonas y caso particular del distrito de Yurimaguas frontera con la región San Martín, así por ejemplo sólo en una zona específica de este distrito en el periodo del 2009 al año 2010 se incrementaron aproximadamente 1470 has de cultivos de palma y del 2010 al 2011 se sumaron otros 2500 has, significando un incremento de 70% en el lapso de 01 año (Figura 10 y 11). Además de los cultivos de palma, también

hay cambios considerables de la cobertura de bosque a usos agrícolas con arroz, pijuayo, yuca, maíz, cítricos, plátano y otros frutales; asimismo, de los aportes de los especialistas del GOREL, en este Sector se presenta áreas de ganadería extensiva de vacunos, distribuidas a lo largo de la carretera a Yurimaguas.



FIGURA 9: Los proyectos de infraestructura en la Selva como IIRSA (en rojo) y los caminos departamentales existentes y en proyecto (Blanco) se muestran como ejes impulsores de la deforestación (verde claro), lo son igualmente los proyectos de cultivos agroindustriales en Loreto y San Martín, la expectativa que genera algunos proyectos hidroeléctricos (puntos morados) y gasíferos (amarillo y naranja).

Departamento	Deforestación anual (has)		Deforestación absoluta (has)	Tasa de deforestación (ha/año)
	2009-2010	2010-2011		
San Martín	39,760.16	30,797.53	70,557.69	35,278.85
Loreto	24,210.75	36,200.84	60,411.59	30,205.80
Ucayali	16,342.14	9,942.41	26,284.55	13,142.28
Huánuco	12,785.28	7,777.46	20,562.74	10,281.37
Madre de Dios	5,402.23	5,959.29	11,361.52	5,680.76
Pasco	3,998.02	3,937.90	7,935.92	3,967.96
Amazonas	3,981.32	4,541.77	8,523.09	4,261.55
Cusco	739.70	1,457.95	2,197.65	1,098.83
Junín	332.57	1,514.10	1,846.67	923.34

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 3: Resultados del Análisis de Deforestación para el periodo 2009-2010-2011; Deforestación Absoluta, Deforestación Anual y Promedio de Deforestación por Regiones Representativas de la Amazonía Peruana.

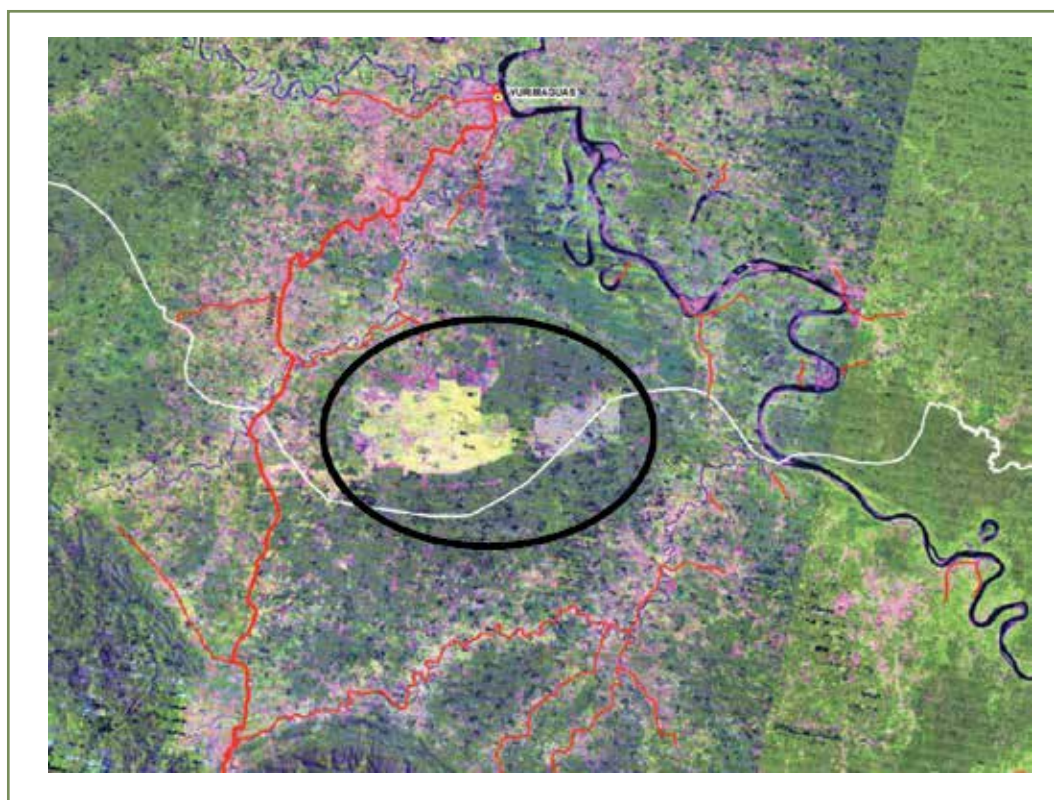


FIGURA 10: Patrón característico de la deforestación por cultivos de palma (círculo) y otros cultivos en la región Loreto, frontera con San Martín en el año 2010, en este último caso siguiendo los ejes viales y extendiéndose a ambos lados; esto es un patrón característico.

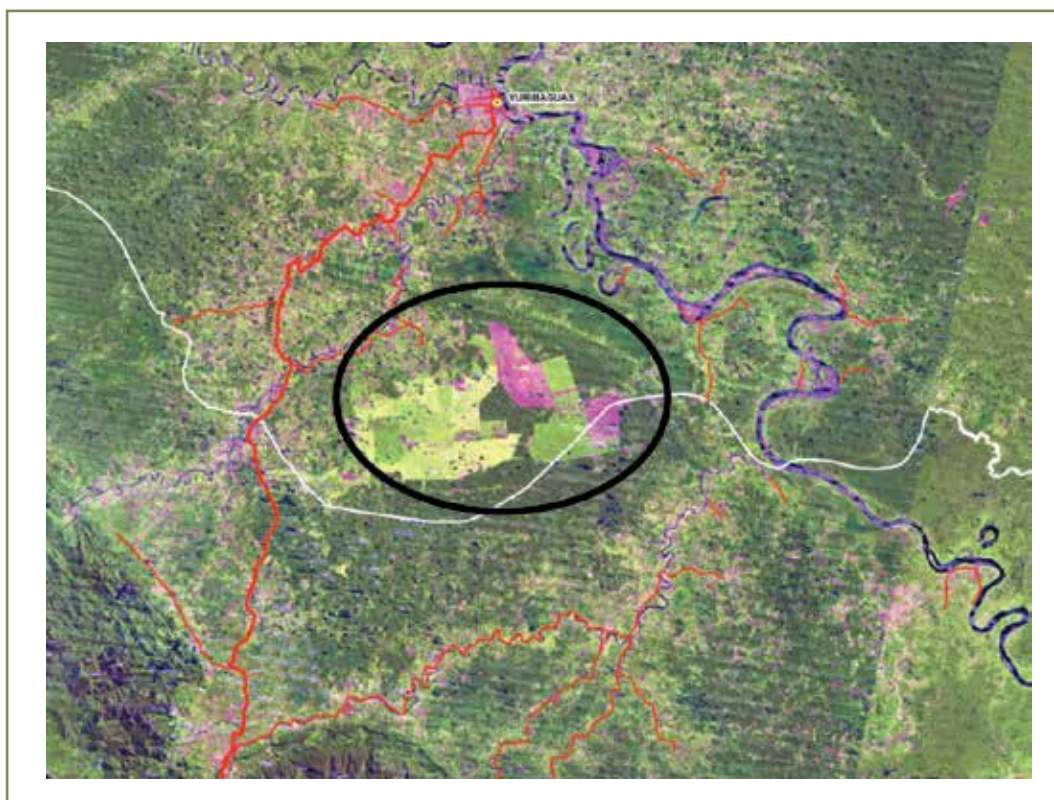


FIGURA 11: Año 2011, nótese el incremento de áreas deforestadas por cultivo de palma (círculo), asimismo el incremento de áreas deforestadas por agricultura por ejes vales es también significativo.

Otras áreas de notorio cambio de cobertura boscosa se desarrolla en el eje de la carretera Iquitos-Nauta y en el eje fluvial Pebas-Caballococha (Figura 12), en estos dos últimos casos el patrón de ocupación se vincula al desarrollo de agricultura de subsistencia con cultivos de arroz, plátano, maíz amarillo duro, frijol, cítricos y pastos cultivados que realizan las poblaciones ribereñas, siendo el arroz el tipo de cultivo más extendido por sus altos rendimientos y que son comercializados en los mercados de Pebas, San Pablo y Caballococha. De acuerdo a los aportes del GOREL, el arroz es el tipo de uso del suelo que genera mayor deforestación.

De otro lado, en la región San Martín, los cambios de la cobertura forestal por deforestación también son intensos teniendo en cuenta que al año se deforesta en promedio más de 35 mil hectáreas por año y se encuentra ligada principalmente a cambios por actividades agropecuarias, lo cual se evidencia en los patrones observados desde las imágenes satelitales estudiadas. En esta región la deforestación presenta un patrón de expansión a partir de los ejes carreteros Tarapoto-Picota-Juajui, Juanjui-Tocache al Sur; Tarapoto-Moyobamba y Rioja-Naranjos en el eje nor-occidental; y

Tarapoto-Yurimaguas en el eje nor oriental, colindante con la región Loreto, en este último caso también existen superficies deforestadas que han sido convertidos a cultivos de palma (Distrito de Barranquita).

En la región San Martín la deforestación tiene, en las Áreas Naturales Protegidas, una barrera de contención, jugando un rol importante en la estabilización del proceso de conversión de tierras con cobertura forestal a otros usos en las áreas vecinas; sin embargo, es claro que la deforestación se mantiene como la principal amenaza a los objetivos de conservación de estas áreas naturales protegidas (Figura 13 y Figura 14).

En el caso de Ucayali y Huánuco la deforestación tiene las mismas características de distribución espacial que San Martín, es decir que sigue los ejes viales y se desarrolla a partir de ellas, aunque con algunas diferencias (Figura 15). En el caso de Huánuco las áreas más deforestadas en el periodo 2009 al 2011 se encuentran concentradas en el eje vial Tocache-Tingo María en la provincia de Leoncio Prado, en tanto que en el sector de la provincia de Puerto Inca la deforestación se extiende ampliamente desde el Codo del Posuzo hasta el eje vial Puerto Inca. En ambos casos estos ejes coinciden

con el desarrollo del Proyecto IIRSA Centro, pero a su vez se refuerza el desarrollo de actividades extractivas forestales y agrícolas tanto en las áreas ocupadas por las poblaciones como en comunidades nativas.

Las áreas más deforestadas en Ucayali se encuentran localizadas en el eje vial Tingo María-Pucallpa. De acuerdo a referencias proporcionadas por especialistas de la región con quienes se coordina los temas de ordenamiento territorial, mencionan que una de las principales formas de deforestación es la agricultura migratoria a partir de los ejes de la carretera Tingo María-Pucallpa aprovechando las entradas de caminos forestales informales sobre tierras que no están categorizadas como bosques de producción permanente y concesiones forestales.

En el caso de Ucayali y Huánuco la deforestación tiene las mismas características de distribución espacial que San Martín, es decir que sigue los ejes viales y se desarrolla a partir de ellas, aunque con algunas diferencias (**Figura 15**). En el caso de Huánuco las áreas más deforestadas en el periodo 2009 al 2011 se encuentran concentradas en el eje vial Tocache-Tingo María en la provincia de Leoncio Prado, en tanto que en el sector de la provincia de Puerto Inca la deforestación se extiende ampliamente desde el Codo del Posuzo hasta el eje vial Puerto Inca. En ambos casos estos ejes coinciden con el desarrollo del Proyecto IIRSA Centro, pero a su

vez se refuerza el desarrollo de actividades extractivas forestales y agrícolas tanto en las áreas ocupadas por las poblaciones como en comunidades nativas.

Las áreas más deforestadas en Ucayali se encuentran localizadas en el eje vial Tingo María-Pucallpa. De acuerdo a referencias proporcionadas por especialistas de la región con quienes se coordina los temas de ordenamiento territorial, mencionan que una de las principales formas de deforestación es la agricultura migratoria a partir de los ejes de la carretera Tingo María-Pucallpa aprovechando las entradas de caminos forestales informales sobre tierras que no están categorizadas como bosques de producción permanente y concesiones forestales.

Un caso particular, pero de especial connotación es la región de Madre de Dios, en donde la Tasa Promedio de Deforestación es baja en comparación con las regiones mencionadas anteriormente. Sin embargo, la tasa anual del 2010-2011 es ligeramente superior a la tasa anual de 2009-2010, lo que indicaría una tasa promedio de deforestación casi constante; que podría ser explicado por la entrada en vigor del Decreto de Urgencia D.U 012-2010-PCM sobre Ordenamiento Minero en el año 2010 y que puede constituirse en uno de los factores en la retracción de la deforestación, otros cambios son debidos a usos agropecuarios y la misma minería pero en menor proporción (Figura 15).

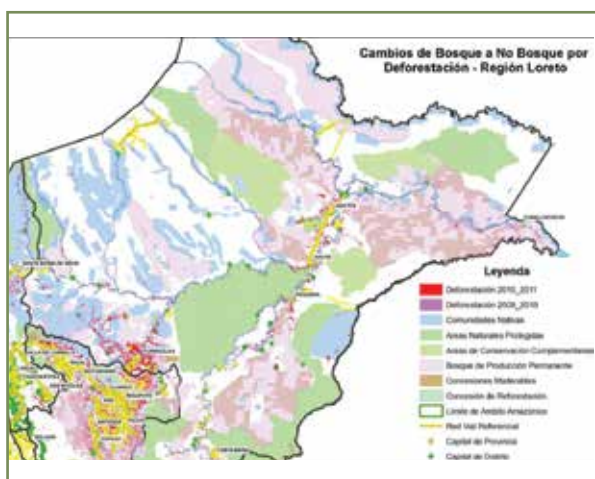


FIGURA 12: En la Región Loreto los procesos de deforestación se concentra en sectores como Yurimaguas y en los ejes de la carretera Iquitos Nauta; eje fluvial Nauta-Requena y Eje fluvial Pebas cabalococha principalmente. En esta región los cambios fueron mayores en el periodo 2010-2011.

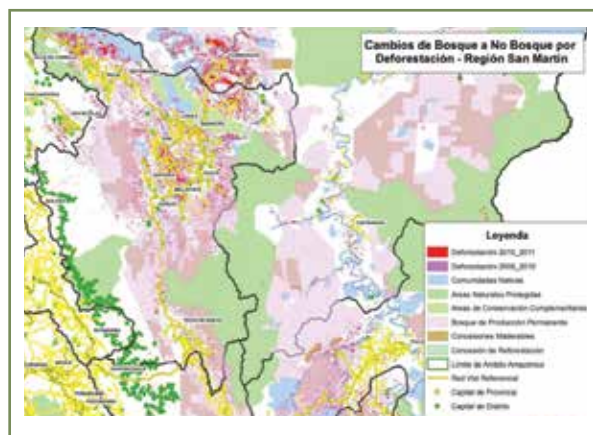


FIGURA 13: Véase el patrón espacial de la deforestación en la Región San Martín, donde a partir de los ejes viales Tarapoto-Juanjuí-Tocache; Tarapoto-Motobamba y Rioja-Naranjos el frente agrícola va presionando los espacios que en cierto modo son contenidos por las Áreas Naturales Protegidas. Asimismo, más al norte en la frontera con Loreto se observa un intenso cambio por deforestación muy similar a lo descrito en Loreto, sin embargo para esta región los cambios más fuertes se registraron entre el 2009 y 2010.



FIGURA 14: Imagen SPOT del año 2011 que muestra el avance de la agricultura en la Región San Martín-Cuenca del río Ponasá, muy cerca del Parque Nacional Cordillera Azul.

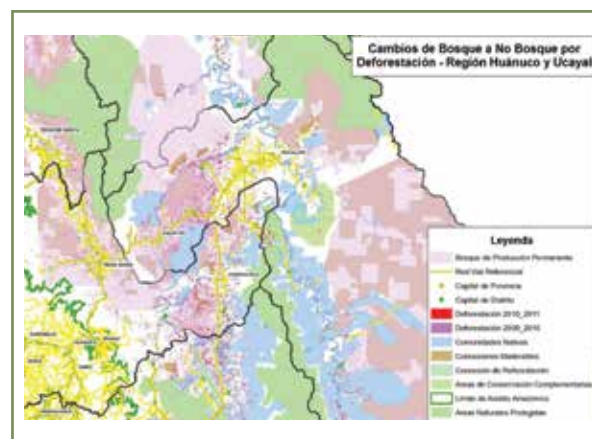


FIGURA 15: Tanto en Huánuco como en Ucayali, el periodo con mayor deforestación fue entre 2009-2010, en el caso de Huánuco las áreas de mayor deforestación se encuentran en los ejes viales de la Carretera Belaunde Terry-Tingo María y el eje vial Puerto Inca; en tanto que en el caso de Ucayali las áreas más deforestadas se encuentran en el eje vial Tingo María-Pucallpa.

6.3 MAPA DE CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE POR DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONÍA PERUANA PARA EL PERIODO 2009-2010-2011

El Mapa corresponde a la representación cartográfica de los resultados obtenidos y en él se están representando las unidades de cambio de cobertura de bosque a no bosque por deforestación a una resolución de 0.09 has, es decir, al mismo nivel de resolución de las imágenes LANDSAT que se han empleado. A partir de ello, es posible desarrollar mapas con unidades mínimas de mapeo que pueden variar según la definición de bosque y deforestación que se adopte como definición nacional.

En este sentido, para propósitos de la presente memoria se ha preferido mantener la unidad mínima de mapeo de 0.09 has, con presentación de la siguiente leyenda (Figura 16):

- Ámbito de la Amazonía (Color Verde)
- Áreas de Cambio de Bosque a No Bosque 2009-2010 (Color Rojo)
- Áreas de Cambio de Bosque a No Bosque 2010-2011 (Color Naranja)
- Cuantificación de la Deforestación Absoluta, Deforestación Anual y Tasa Promedio de deforestación para el Ámbito de la Amazonía.
- Cuantificación de la Deforestación Absoluta, Deforestación Anual y Tasa Promedio de deforestación para las regiones amazónicas representativas.

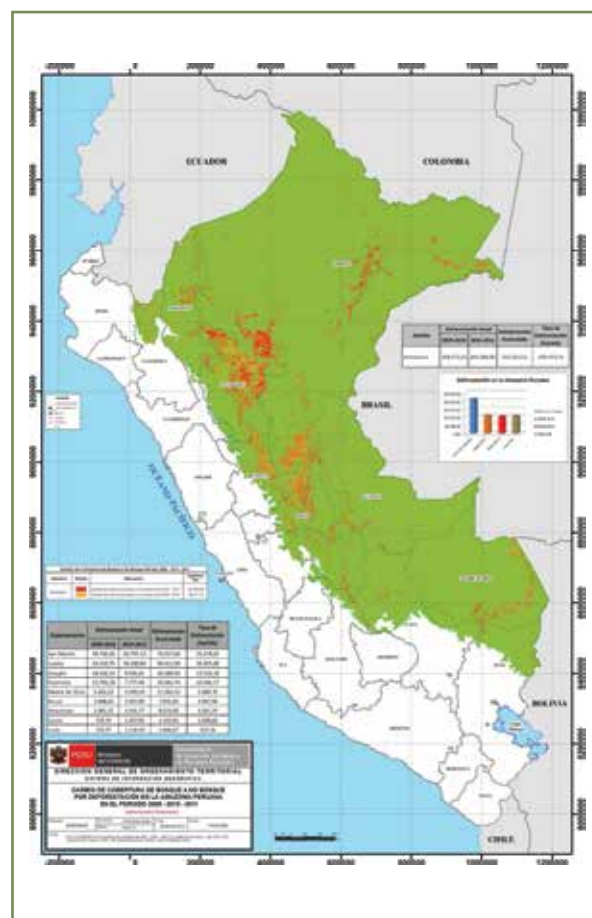


FIGURA 16: Mapa de los cambios de Bosque a No Bosque por Deforestación de la Amazonía para el período 2009-2010-2011.

7. REFERENCIA PARA LA VALIDACIÓN DEL ANÁLISIS DE COBERTURA DE BOSQUE A NO BOSQUE POR DEFORESTACIÓN

7.1 MAPA DE CAMBIO DE BOSQUE A NO BOSQUE POR DEFORESTACIÓN DE LA AMAZONÍA PERUANA PARA EL PERIODO 2009-2010-2011

La validación de la exactitud temática permite definir el grado de fidelidad de los valores obtenidos en el análisis de cobertura de bosque y deforestación, producido por la metodología aplicada con respecto a su verdadera característica encontrada en el mundo real y su clasificación correcta¹¹.

Para realizar la evaluación de la exactitud temática del Mapa de Deforestación 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.

Haciendo referencia al nivel de exactitud del mapa anteriormente producido para el periodo 2000-2005-2009, y que da una idea de la información producida para el periodo 2009-2010-2011, se puede señalar que este nivel de exactitud 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.

Los resultados de la validación del mapa de deforestación 2000-2005-2009, arrojó 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; y se espera que con la nueva versión del mapa de deforestación actualizado al 2011, el índice de Kappa se mantengan en los mismos niveles de exactitud. A continuación se aprecia los resúmenes de las matrices de confusión y coeficiente de Kappa calculado (Cuadro 4 y 5) y registros fotográficos de las campañas de campo realizados en el 2011 (Figura 17) y se adjuntan de manera detallada en el **Anexo 1**.

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 4: 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 5: 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



FIGURA 17: Registros fotográficos del trabajo de validación de campo, realizado entre setiembre-octubre-noviembre del año 2011.

7.2 PROTOCOLO DE VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DEFORESTACIÓN 2009-2010-2011

Para el propósito de medir la exactitud temática de los resultados actualizados de deforestación, se ha mejorado el Protocolo de Medición de la Exactitud Temática teniendo en cuenta para ello la evaluación del área total analizada, el uso de imágenes de alta resolución, los datos de imágenes LIDAR e Hiperespectrales del Observatorio Aéreo de CARNEGIE (CAO). Se espera asimismo tener un valor de confianza

del 95% para los aspectos de calcular el número de muestras y puntos a validar.

Asimismo, las actividades de medición de la exactitud serán ejecutadas en el 2013, con el fin de aplicar el nuevo protocolo de validación y se prevé que su ejecución tendrá la participación del SERNANP, OSINFOR, los Gobiernos Regionales y el MINAG.

8. 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 montañosos, 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 montañosos.

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 montañosos. Estas muestras proveerán 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 montañosos), 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.

9. UTILIDAD Y APLICACIÓN DE LA INFORMACIÓN GENERADA

Dado que el anterior referente oficial en el Perú sobre la superficie deforestada y las tasas de deforestación fueron calculados para el periodo 1990-2000 (PROCLIM 2005)¹³; el presente esfuerzo técnico para la **actualización de la cuantificación de la deforestación para periodos a partir del año 2000 y en específico para el periodo 2009-2010-2011**, la información generada describe el estado actual de la superficie boscosa de la amazonia del Perú, cuantificando y caracterizando los niveles de deforestación existentes en los departamentos con ámbito amazónico como: Amazonas, Loreto, San Martín, Ucayali, Huánuco, Pasco, Junín, Cuzco y Madre de Dios, entre otros, y constituye un instrumento técnico de utilidad estratégica; por lo siguiente:

- Facilita la toma de decisiones de autoridades de gobiernos regionales y locales en la regulación de la ocupación del suelo, y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales principalmente en la conservación de bosques.
- Permite elaborar e implementar políticas y medidas que contribuyan al manejo sostenible del territorio, los recursos forestales y los otros componentes que dependen de él, tanto a nivel nacional como a nivel de los ámbitos regionales acorde al marco legal y normativo vigente en el país. Véase **Anexo 2**.

Asimismo, se constituyen información técnica valiosa, que debe ser analizada, para su incorporación en diversos procesos de desarrollo, tales como:

9.1 INCORPORACIÓN EN INSTRUMENTOS TÉCNICOS, DE GESTIÓN Y NORMATIVOS

• Instrumentos técnicos

Zonificación ecológica económica, 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.

Inventario forestal y manejo forestal sostenible, insumo base para el desarrollo del inventario forestal nacional y futuros proyectos de reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal

Evaluación y valoración de los servicios ecosistémicos, teniendo en cuenta que la cobertura forestal y en especial los bosques originarios remanentes proporcionan una serie de beneficios relacionados con la seguridad hídrica en las cuencas, recursos genéticos, mantenimiento de los suelos y de los procesos de erosión, entre otros.

Evaluación de riesgo de desastre, 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.

• Instrumentos de gestión

Plan de desarrollo concertado, incorporación en los planes de desarrollo regional, teniendo como base el estado de los bosques, su ubicación y tasas de deforestación que pueden ser calculados por provincia y distritos.

Plan de ordenamiento territorial, como insumo tanto en la etapa de diagnóstico para los análisis territoriales de la zonificación ecológica económica, como en la etapa prospectiva en referencia a escenarios de deforestación y ocupación del territorio y posteriormente en la planificación de los usos y derechos territoriales.

Plan de acondicionamiento territorial, de manera similar se constituye en un insumo para conocer la cobertura forestal y su relación con los usos y derechos de tierras, posibilitando el acondicionamiento territorial.

Plan de desarrollo urbano, principalmente en la definición de los usos en las áreas urbanas, como en el mantenimiento de cinturones verdes que coexistan con el desarrollo urbano.

Plan de manejo de las áreas naturales protegidas, 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.

- **Instrumentos normativos**

Regulación de los usos y ocupación del suelo, especialmente teniendo en cuenta que el monitoreo de los cambios de la cobertura forestal permite la actualización de los usos y posibilita su contrastación frente a las regulaciones de los usos definidos.

9.2 INCORPORACIÓN EN: PROCESOS PARTICIPATIVOS

Presupuesto participativo, para el caso de los niveles de gobierno que se encuentran en regiones amazónicas, los presupuestos participativos considerarán proyectos y acciones que conduzcan al aprovechamiento productivo y sostenible del bosque.

Vigilancia ciudadana, siendo el monitoreo de la cobertura forestal un insumo indispensable que permite identificar los puntos o zonas calientes de deforestación lo cual se consideraría como un indicador de las amenazas y procesos de ocupación reñidos con las normas de ocupación, permitiendo el desarrollo de mecanismos de vigilancia ciudadana para la prevención.

9.3 APLICACIÓN EN EL: DISEÑO Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

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.

9.4 COMO INSUMO: SISTEMA DE MEDICIÓN, CONTROL Y MONITOREO CAMBIOS EN LA COBERTURA DE LA TIERRA

Ya que las bases de datos generadas, las imágenes, 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.

10. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran datos de deforestación anual, deforestación acumulada y tasa promedio de deforestación más cercana a la realidad. Estos datos actualizados 2009-2010 y 2010-2011 registran las variaciones anuales efectivas, en tanto que las experiencias predecesoras han correspondido a análisis con rangos de intervalos bastante amplios; así por ejemplo el estudio de PROCLIM analizó sólo un periodo de cambio de 1990 a 2000 (intervalo de 10 años), el reciente análisis del IBC correspondió a un periodo de cambio de 2005 a 2010 (intervalo de 05 años), y el análisis MINAM-DGOT para el periodo 2000-2005-2009 consideró al menos 02 intervalos de 5 y 4 años respectivamente; sin embargo un análisis multitemporal será más real en la medida que los intervalos de análisis sean más cortos y por periodos largos.

Otros aspectos técnicos que refuerzan la confiabilidad de los datos producidos:

- Los resultados obtenidos son producto de un análisis pixel a pixel, en tanto que las metodologías anteriores usaron una digitalización manual, lo que está demostrado genera mayor generalización en la delimitación de la coberturas de la tierra, bosque-no bosque, en tanto que los resultados actuales tienen mayor precisión en sus límites.
- Los datos generados con la metodología actual permiten obtener mosaicos de imágenes libre de nubes y sombras, mientras que las experiencias predecesoras, han lidiado con este problema, lo cual ha incidido directamente en el área efectiva de análisis.
- El avance de la ciencia antes del año 2000 condicionaba la interpretación de imágenes casi exclusivamente a la experiencia del intérprete y a clasificaciones digitales, sin embargo, a partir del año 2000 ha habido un rápido crecimiento en el desarrollo y aplicación de algoritmos que permiten descifrar el contenido espectral de las imágenes y cuantificar propiedades biofísicas a partir de ellas, ampliamente documentados, que sólo con una interpretación visual no es posible hacer; esto, sumado a la experiencia de los intérpretes, han

mejorado sustancialmente la performance de los resultados obtenidos, siendo más exactos (condición para discriminar objetos a través de imágenes), más precisos (en términos de su aproximación a la realidad y a límites reales) y más confiables (en términos del cálculo de los niveles de certidumbre y error).

- Los nuevos datos generados representan también un proceso de fortalecimiento de capacidades en el MINAM, que respaldan el uso y aplicación de esta metodología, la cual deberá contar con mayor difusión y socialización, con el fin de mejorar su nivel de aceptación.
- Para realizar la evaluación de la exactitud temática del Mapa de Deforestación 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. Este protocolo fue aplicado en el análisis realizado por MINAM para el periodo 2000-2005-2009 y ha sido reforzado para el presente análisis 2009-2010-2011.
- Los conceptos, método, procedimientos y resultados obtenidos 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). **En el Anexo 3**, se adjunta una descripción detallada de estos aspectos técnicos que refuerzan la calidad de los datos
- La experiencia de MINAM desarrollada durante el proceso de evaluación de la cobertura de bosques y deforestación del periodo 2000-2005-2009 y con el apoyo científico de CARNEGIE, ha permitido mejorar el sistema de procesamiento, la inclusión de más firmas espectrales y toma de datos en campo a través de CAO (Observatorio Aéreo de Carnegie), lo cual hacen más robusto el sistema de análisis.
- Para el desarrollo de los datos sobre deforestación, se tomó en cuenta las observaciones y recomendaciones de diferentes entidades de otros sectores como MINAG, OSINFOR, órganos adscritos y Direcciones Generales del MINAM.

11. APORTES Y COMENTARIOS DE OTROS SECTORES QUE CONTRIBUYERON CON SUS APORTES A LA GENERACIÓN DE LOS NUEVOS DATOS

- El Viceministerio de Agricultura del Ministerio de Agricultura, mediante Oficio N°377-2012-AG-DVM del 05 de diciembre 2012, alcanza los resultados del análisis de la memoria técnica, mapa y base de datos de la deforestación en la Amazonía Peruana. Este documento hace un reconocimiento del esfuerzo realizado, y adjunta el Informe N° 175-2012/AG-DGFFS-DICFFS de la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre – DGFFS, en el que se propone unir esfuerzos con el MINAM y la Sala de Observación del Proyecto OTCA para elaborar la nueva versión del mapa de deforestación.
- En las conclusiones del Informe Técnico de la DGFFS antes citado, se destaca que *“El mapa de cobertura de bosque y cambio de bosque a no bosque en el periodo 2000-2005-2009 elaborado por MINAM, es el que más se ajusta a los objetivos del Proyecto de Deforestación de bosques panamazónicos”* (Proyecto OTCA), y recomienda el mejoramiento del proceso de enmascaramiento de sombras y nubes, así como la inclusión de puntos de verificación en áreas de concesiones forestales maderables y no maderables.
- Mediante Oficio N° 681-2012-OSINFOR/06.1, el Organismo Supervisor de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre – OSINFOR, alcanza el Informe N°044-2012-OSINFOR-06.1.1, precisando el avance importante de MINAM en el uso de nuevas herramientas de análisis que permiten optimizar tiempo y esfuerzos para obtener resultados oportunos, considerando que los estándares internacionales utilizados en el análisis y su adaptación a la realidad del país valida los resultados obtenidos. El citado informe recomienda tener en cuenta que las superficies bajo sombras y nubes reducen el área de análisis, siendo posible realizar ajustes a los resultados obtenidos, e incorporar las vías fluviales en el proceso de chequeo de campo.
- El Proyecto de Monitoreo de la Deforestación en el Bosque Panamazónico (Proyecto OTCA), a través de la Coordinadora Nacional de la Sala de Observación, alcanzó mediante Carta N° 005-2012-SDOP-PMDAFCUS-OTCA del 12 de diciembre, los aportes correspondientes refiriendo que los datos proporcionados por el MINAM se integran como insumo para la elaboración de la línea de base de deforestación para el año 2000; en el marco de los acuerdos realizados en el Taller de Lima de las Salas de Observación de los países miembros de la OTCA. Asimismo, recomienda mejorar el trabajo en áreas de enmascaramiento por nubes y sombras, y realizar ajustes finales a los resultados en éstas áreas particulares.
- La Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental del MINAM mediante Memorándum N°565-2012-MINAM-VMGA-DGPNIGA, concluye que los resultados del análisis de cobertura de bosque y deforestación en la Amazonía Peruana y otros esfuerzos vinculados, constituyen un insumo importante para el proceso de monitoreo y desarrollo de las acciones estratégicas 4.1, 4.2 y 7.19 del Plan Nacional de Acción Ambiental y sugiere la generación de nueva información que resulte útil para elaborar el mapa de peligros.
- La Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos mediante Memorándum N° 324-2012-DGCCDRH-DVMDERN-MINAM recomienda que se agregue información sobre la transferencia de capacidades realizada a los gobiernos regionales, asimismo recomienda que la validación de campo comprenda otras zonas más allá del área de influencia de los ejes carreteros y realizar un diseño metodológico para la validación que comprenda el área total de análisis.
- El Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático, mediante Memorando N° 299-2012/PNCB-VMDERN-MINAM, se recomienda adecuar los rangos de los valores de cobertura fraccional de acuerdo a la metodología desarrollada, e incluir los datos de desplazamiento de la corrección geométrica del mosaico satelital a fin de considerarlo en la comprobación de campo de la clasificación de bosque-no bosque.

12. ACCIONES REALIZADAS Y PENDIENTES

- Durante finales de 2013 y principios del 2014, se procederá con la aplicación del protocolo de medición de la exactitud temática que comprende el uso de los datos de CAO, imágenes de alta resolución y chequeo de campo con el fin de cuantificar las métricas de exactitud del mapa. Esto demandará el trabajo en equipo del MINAM y de los Gobiernos Regionales.
- En el marco de los procesos de ordenamiento territorial se coordinará y desarrollará con los gobiernos regionales de Loreto, Amazonas, San Martín, Pasco, Cuzco, Puno y Madre de Dios, la elaboración de sus respectivos mapas de cobertura y uso de la tierra.
- Se consolidarán los avances en la articulación de esfuerzos con otras entidades como son: el Ministerio de Agricultura, Ministerio de Economía y Finanzas, OSINFOR, CONIDA, SERNANP; así como con iniciativas específicas como son: el Proyecto OTCA de Monitoreo de la Deforestación en el Bosque Panamazónico, el Proyecto de Inventario Forestal Nacional, el Proyecto REDD-MINAM, el Programa Nacional de Bosques, entre otros. Cabe precisar que en el 2012 se han logrado pasos importantes en esta materia, por cuanto el MINAG y MEF están conformes con los resultados obtenidos, sugiriendo mayor incidencia y desarrollo de resultados actualizados.
- Habiéndose ampliado el Convenio MINAM-CARNEGIE, se desarrollará un nuevo Plan de Trabajo que incluirá actividades para la actualización del análisis de deforestación al año 2013, y actividades para validar los resultados sobre degradación forestal.
- El lanzamiento de la Misión LANDSAT 8, permitirá el aprovisionamiento de imágenes para producir información en los siguientes años.
- Paralelamente, se está desarrollando la producción de información sobre los usos y cambios de uso de la tierra, para lo cual se viene coordinando con las regiones del país a fin de proseguir con la generación de mapas de cobertura y uso de la tierra actualizado. Para ello, durante el 2013 se han organizado y desarrollado talleres de capacitación para transferir capacidades a los equipos de los gobiernos regionales en la aplicación de protocolos de análisis de coberturas y uso de la tierra según el sistema de clasificación Corin Land Cover, así como en la aplicación de CLASlite 3.0.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1 CONCLUSIONES

En relación a las confiabilidad de los datos

- Para el desarrollo de los datos actualizados sobre deforestación del periodo 2009-2010-2011, se ha incorporado los aportes y recomendaciones de entidades como la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre del MINAG, OSINFOR, SERNANP, Proyecto OTCA, Direcciones Generales del MINAM, Programa Nacional de Conservación de Bosques y organismos adscritos del MINAM, que cumplieron con el encargo de alcanzar sus aportes.
- Para el análisis actualizado, fueron ajustados los procedimientos técnicos a fin de obtener resultados con mayor exactitud y precisión; exactitud en términos de su correspondencia a la situación real del área analizada (imágenes con mejor corrección geométrica y mosaicos libre de nubes y sombras) y precisión en términos de los cálculos derivados de la aplicación del algoritmo de análisis (incremento de firmas espectrales, mayor número de iteraciones en el sistema de procesamiento y mejores árboles de decisión para la determinación de deforestación y degradación forestal).
- Para el propósito de medir la exactitud temática de los resultados actualizados de deforestación, se ha desarrollado el Protocolo de Medición de la Exactitud Temática que ha sido mejorado teniendo en cuenta una evaluación del área total analizada (Amazonía), el uso de imágenes de alta resolución, los datos de imágenes LIDAR e Hiperespectrales del Observatorio Aéreo de CARNEGIE (CAO), y se ha considerado un valor de confianza del 95% para los aspectos de calcular el número de muestras y puntos a validar.
- Asimismo, las actividades de medición de la exactitud serán ejecutadas a finales del 2013 y principios del 2014, con el fin de aplicar el nuevo protocolo de validación y su ejecución tendrá la participación de los Gobiernos Regionales, SERNANP y OSINFOR.

En relación a los resultados obtenidos

- En relación a los resultados del análisis desarrollado para determinar los cambios de cobertura de bosque a no bosque por deforestación para el

período 2009-2010-2011 se ha obtenido que la deforestación absoluta para el periodo 2009-2011 (3 años) fue de 211,952 has; la deforestación anual en el periodo 2009-2010 fue de 108,572 y en el periodo 2010-2011 fue de 103,380 has; en tanto que la tasa promedio de deforestación para el periodo 2009-2011 es calculado en 105,976 ha/año.

- A nivel de regiones más representativas de la Amazonía, los resultados fueron (ver tabla 1).
- De las 09 regiones más representativas de la Amazonía Peruana, teniendo en cuenta la proporción de la superficie de ámbito amazónico que comprenden sus territorios, 04 de ellos: San Martín, Loreto, Ucayali y Huánuco, presentan las tasas promedio de deforestación más altas en el periodo de análisis 2009-2010-2011, situación que puede ser explicado por ser las áreas donde se mantiene una mayor incidencia de proyectos viales como IIRSA Norte, Centro y SUR, Carretera Iquitos-Nauta y ejes fluviales de la Selva, o los proyectos agroindustriales de Palma en Loreto y San Martín, así como la expectativa de proyectos hidroeléctricos y gasíferos que influyen en ámbitos como Cuzco y Madre de Dios.

En relación a la utilidad de la información generada

- Los resultados obtenidos se constituye como un instrumento técnico de utilidad estratégica que:
- Facilita la toma de decisiones de autoridades de gobiernos regionales y locales en la regulación de la ocupación del suelo, y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales principalmente en la conservación de bosques.
- Permite elaborar e implementar políticas y medidas que contribuyan al manejo sostenible del territorio, los recursos forestales y los otros componentes que dependen de él, tanto a nivel nacional como a nivel de los ámbitos regionales acorde al marco legal y normativo vigente en el país.
- Asimismo, se constituyen en información técnica para su incorporación en diversos procesos y desarrollo de instrumentos de gestión como ZEE,

inventario forestal, valoración de servicios ecosistémicos, riesgos, planes de desarrollo y de ordenamiento territorial, diseño y ejecución de proyectos de inversión, sistemas de medición y monitoreo de cambios de la cobertura de la tierra, etc.

En relación a los pasos a seguir

- En la primera mitad del año 2013 se llevará a cabo la aplicación del protocolo de medición de la exactitud temática del Mapa de Deforestación congregando la participación de los equipos técnicos de los Gobiernos Regionales involucrados y especialistas del SERNANP, OSINFOR y las Regiones, de acuerdo a las coordinaciones previamente realizadas.
- A partir de febrero se desarrollará actividades de fortalecimiento de capacidades en los gobiernos regionales que desarrollan procesos de ordenamiento territorial, para socializar los resultados obtenidos y capacitar en los procesos técnicos y aplicación de la metodología de análisis.
- Profundizar en la caracterización de los factores de la deforestación a nivel regional, aspectos sobre los que estos resultados sirven como insumo para entender dónde y cómo actúan las fuerzas motrices de los cambios del uso de la tierra.
- De acuerdo a lo propuesto por el Ministerio de Agricultura, los resultados obtenidos serán puestos a disposición de la Sala de Observación del Proyecto OTCA con el fin de realizar el reporte nacional de Bosque-No Bosque para los años 2000 y 2010, en concordancia con los acuerdos de las Salas de Observación de los Países de la OTCA.
- Para el presente año 2013, se desarrollará un plan de trabajo en el marco del Convenio MINAM-CARNEGIE que involucrará actividades técnicas que involucra la participación otras Direcciones Generales.

13.2 RECOMENDACIONES

Dado la magnitud de los esfuerzos realizados y las capacidades técnicas desarrolladas por el Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección General de Ordenamiento Territorial, para reportar datos sobre los cambios en la cobertura de bosques por deforestación; se recomienda:

- Alcanzar el presente informe y sus anexos a las Direcciones Generales del Ministerio del Ambiente y Órganos Adscritos, para conocimiento y fines, así como la coordinación de actividades de apoyo al proceso de medición de la exactitud temática del mapa; esto debe realizarse aplicando el protocolo de validación correspondiente.
- Poner a disposición la información generada a los diferentes ministerios e instituciones sectoriales cuyos resultados pueden ser de utilidad en sus respectivas gestiones, así como a los Gobiernos Regionales con el fin de socializar los resultados, en este último caso a través de talleres de capacitación, recibir consultas y coordinar acciones.
- Para el caso de los Gobiernos Regionales, se debe proseguir con el proceso de fortalecimiento de capacidades en esta materia y la transferencia de las bases de datos y resultados del análisis de

deforestación, a fin de que sean considerados en sus respectivos procesos y apoyen en el control de campo de los resultados.

- Iniciar acciones y estudios complementarios, que permitan identificar los principales factores sociales, culturales, económicos y políticos que están implicados en la deforestación y con el fin contar con el sustento necesario para el diseño de propuestas e instrumentos que contribuyan a la gestión territorial, el manejo sostenible de los recursos forestales y su conservación.

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.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DETALLADOS DEL PROCESO DE LOS DATOS DE CAMPO PARA LA VALIDACIÓN DEL ANÁLISIS 2000-2005-2009

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. MARCO NORMATIVO

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

- **Constitución Política del Perú**

- Inciso 22 del artículo 2: Toda persona tiene el derecho fundamental de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado a su desarrollo de vida.
- Artículo 67: El Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

- **Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales**

- Artículo 7: Es responsabilidad del Estado promover el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a través de Leyes Especiales sobre la materia, las políticas del desarrollo sostenible, la generación de la infraestructura de apoyo a la producción, fomento del conocimiento científico tecnológico, la libre iniciativa y la innovación productiva; señalando además que el Estado impulsa la transformación de los recursos naturales para el desarrollo sostenible.

- **Ley 28611, Ley General del Ambiente**

- Artículo 133: La vigilancia y el monitoreo ambiental tienen 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. La Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para el desarrollo de las acciones de vigilancia y monitoreo.

- **Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación,**

- Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente**

- Numeral 2.1 del artículo 2: El Ministerio del Ambiente como organismo del Poder Ejecutivo, cuya función general es diseñar, establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial ambiental, asumiendo la rectoría con respecto a ella.
- Numeral 3.1 del artículo 3: El objeto del Ministerio del Ambiente es la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable, racional

y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, y así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida.

- Numeral 4.1 del artículo 4: El Ministerio del Ambiente es el organismo del Poder Ejecutivo rector del sector ambiental, que desarrolla, dirige, supervisa y ejecuta la política nacional del ambiente. Asimismo, cumple la función de promover la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas.

- Literal c) del artículo 7: El Ministerio del Ambiente tiene como función específica, vinculada al ejercicio de sus competencias, 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”.

- Literal f) del artículo 7: El Ministerio del Ambiente tiene como función específica, vinculada al ejercicio de sus competencias, dirigir el Sistema Nacional de Información Ambiental.

- **Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM, Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente**

- Artículo 37: Establece las funciones de la Dirección General de Ordenamiento Territorial del Ministerio del Ambiente:

a) *Formular, en coordinación con las entidades correspondientes, la política, planes, estrategias, lineamientos y normas de carácter nacional para el ordenamiento territorial proponiendo su aprobación al Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales.*

b) *Conducir, promover, asesorar y evaluar 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.

- c) *Conducir y orientar los procesos de Zonificación Ecológica Económica así como la elaboración de estudios especializados.*
 - d) *Emitir opinión técnica sobre propuestas normativas en materia de ordenamiento territorial.*
 - e) *Promover y evaluar el cumplimiento de las políticas, lineamientos, normas y directivas en materia de ordenamiento territorial.*
 - f) **Administrar, organizar, actualizar el Sistema de Información Geográfica del Ministerio para proveer información técnica especializada que contribuya a la toma de decisiones, en coordinación con el Viceministerio de Gestión Ambiental, direcciones de línea e instituciones adscritas al Ministerio entre otras, suministrando información al SINIA.**
 - g) *Organizar y mantener el registro nacional sobre ordenamiento territorial y la Zonificación Ecológica Económica.*
 - h) *Promover y capacitar permanentemente en los aspectos relacionados a la Zonificación Ecológica Económica y ordenamiento territorial, a los tres (03) niveles de gobierno.*
 - i) *Conducir y promover la articulación de los planes de desarrollo concertados, gestión de riesgos, el proceso de descentralización, regionalización y desarrollo de fronteras con el ordenamiento territorial para la adecuada gestión integrada de los recursos naturales.*
 - j) *Las demás funciones que le asigne el Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales.*
- **Decreto Supremo N°014-2011-MINAM, Plan Nacional de Acción Ambiental 2011-2021**
 - 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.**
 - **Decreto Supremo N°012-2009-MINAM, Política Nacional del Ambiente**
 - La Política Nacional del Ambiente es de cumplimiento obligatorio en los niveles del gobierno nacional, regional y local y de carácter orientador para el sector privado y la sociedad civil. Se estructura en base a cuatro ejes temáticos esenciales de la gestión ambiental, respecto de los cuales se establecen lineamientos de política orientados a alcanzar el desarrollo sostenible del país.
 - 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.**
 - **Decreto Supremo N° 087-2004-PCM; Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica:**
 - Artículo 3:
Los objetivos de la Zonificación Ecológica y Económica:
 - a) *Conciliar el interés nacional 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 potenciales 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.*

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

- **Directiva “Metodología para la Zonificación Ecológica y Económica”, aprobada por el Decreto del Consejo Directivo N° 010-2006-CONAM/CD.**

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.”

- **Resolución Ministerial N° 026-2010-MINAM, Lineamientos de Política para el Ordenamiento Territorial**

- Lineamiento 5.2: Promover la recuperación de los ecosistemas deteriorados y la protección de áreas frágiles y relictos. Tiene como acción priorizada, promover programas de reforestación con fines de protección de áreas deterioradas.

2. 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.

Anexo 3. ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA LA DESCRIPCIÓN DEL METODO APLICADO POR MINAM PARA EL ANÁLISIS DE COBERTURA DE BOSQUE Y DEFORESTACIÓN CON SENSORES REMOTOS¹⁴

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 y etm; 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 provienen de un mismo año 2000, 2005, 2009, 2010 2011, para la obtención de un mosaico no se emplearon años múltiples.

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), ¿qué procedimientos se realizaron para llenar los huecos de información?**

Las imágenes landsat 7 solo se usaron para extraer pixeles utiles que no se encuentran afectados por los gaps de información.

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 los resultados de las correcciones GEOMÉTRICAS?. Ejemplo, RMS<1 en resolución espacial de 30m.**

Para el análisis actualizado al 2011, se usaron imágenes ortorectificadas con correccion L1T, con un RMS<1 (máximo aceptable).

- **Si RMS>1, orto-corrección/normalización de topografía es requerido. ¿Qué métodos se utilizaron 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

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

Las nubes fueron removidas usando un método que extrae los mejores pixeles de diferentes imágenes para un mismo año, logrando de esta manera escenas casi libre de nubes (método de compuestos por pixeles). Las areas que aún quedan sin información fueron cubiertas con la generacion de mosaicos de coberturas fraccionales de imágenes modis y reescalamiento a 30 metros.

14. 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).

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:

$$VF \geq 80\% \text{ AND } S < 20\%$$

- **¿Si fueron desarrolladas firmas espectrales 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 bosque 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:

$$VF \geq 80\% \text{ AND } S < 20\%$$

Para Deforestación:

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

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

$$\text{OR } ((VF1 < 80) \text{ AND } ((VNF1 - VNF0) \geq 20)))$$

Para Perturbación:

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

- **¿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. A través del uso de la herramienta claslite donde los pasos se encuentran personalizados.

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

Si. Esto comprende basicamente una edición manual del resultado de analisis para garantizar la calidad de los resultados.

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

Si. A partir 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

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

No, se mantiene los pixeles 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 documentacion correspondiente para exponer dichos puntos.

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

Si, se han desarrollado los protocolos correspondientes.



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

