

Memorias



Sociedad Latinoamericana en
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
Capítulo Colombia

30
AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



MAPEO DE PÉRDIDA DE BOSQUES HÚMEDOS AMAZÓNICOS DEL PERÚ ENTRE LOS AÑOS 2000 AL 2011 UTILIZANDO METRICAS MULTITEMPORALES DERIVADAS DE DATOS LANDSAT ETM+

C. Vargas González^a, E. Rojas Baez^a, D. Castillo Soto^b, V. Espinoza Mendoza^b, A. Calderón-Urquizo Carbonel^b, R. Giudice Granados^a, N. Malaga Durán^a, B. Zutta Salazar^a, P. Potapov^c, M. Hansen^c, J. Dempewolf^c, E. Mendoza Rojas^d

^aProyecto REDD+ Ministerio del Ambiente. Av. 2 de Mayo 1545 - 5to Piso. San Isidro - Perú.

^bPrograma Nacional de Conservación de Bosques. Av. 2 de Mayo 1545 - 5to Piso. San Isidro - Perú.

^cDepartment of Geographical Sciences, University of Maryland, 2181 LeFrak Hall, College Park, MD - United States

^dConservación Internacional Perú, Av. Dos de Mayo 741 – Miraflores – Perú.

E-mail correspondiente al autor: cvargas@minam.gob.pe

ABSTRACT: In this paper we present the process followed by the REDD+ MINAM project (Ministry of Environment of Peru) to quantify forest cover loss in the Peruvian Amazon between the years 2000 and 2011, which aims to analyze historical trends and drivers of deforestation, as well as to assess potential future scenarios of forest loss to report on the REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) process in Peru. The REDD+ MINAM project is applying a methodology based on an exhaustive, semi-automated analysis of the Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) archive for Peru. The methodology chooses the highest quality, cloud-free pixels of each Landsat and generates more than 500 multi-temporal metrics, which increases the discrimination capacity relative to that of traditional multispectral analysis. Two maps were independently developed: (1) forest cover map for 2000 (primary forest) and (2) forest cover loss map between 2000 and 2011. The classification methodology is based on a decision tree algorithm. The methodology proved to be a tool with high discrimination capacity, which efficiently classifies forest cover and forest cover loss for the study period.

RESUMEN: En este artículo presentamos el proceso seguido por el proyecto REDD+ MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú), en la cuantificación de pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos entre los años 2000 y 2011, que tiene como objetivo analizar las tendencias históricas, causas de la deforestación, así como también los posibles escenarios futuros que informe sobre la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques). El proyecto REDD+ MINAM está aplicando una metodología basada en un análisis exhaustivo, semi-automático de los datos Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+). La metodología genera compuestos de imágenes libres de nubes con los que

genera más de 500 métricas multi-temporales, lo que aumenta la capacidad de discriminación con respecto a un análisis multispectral tradicional. Se desarrollaron dos mapas: (1) Mapa de Bosque/Bosque para el año 2000 y (2) mapa de pérdida de bosques entre los años 2000 y 2011. La metodología de clasificación se basa en un algoritmo de árbol de decisión y demostró ser una herramienta con alta capacidad de discriminación, clasificando de manera eficiente la cobertura de bosques y la pérdida de bosques para el periodo en estudio.

KEY WORDS: Landsat - ETM+, Primary Forest, Detection of changes, Multitemporal metrics.

PALABRAS CLAVE: Landsat - ETM+, bosque primario, detección de cambios, métricas multi-temporales

1. INTRODUCCION

El mecanismo de Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y Degradación Forestal y el rol de la conservación de los bosques, el manejo forestal sostenible y las mejoras en las reservas de carbono forestal en países en desarrollo (REDD+), es una herramienta de lucha contra la deforestación que busca reducir las emisiones derivadas de las actividades del ser humano en los bosques.

Uno de los componentes de la Estrategia REDD+ Nacional en el Perú, es el Sistema de Monitoreo, Medición, Reporte y Verificación (MRV) de las emisiones de origen antrópico relacionadas con los bosques, absorción por sumideros, reservas forestales de carbono y cambios en la superficie forestal; nuestro estudio tiene como objetivo principal cuantificar la cobertura forestal para el año 2000 y la pérdida de este entre los periodos 2000 al 2011; esta información será utilizada para la construcción de un escenario de línea de base de deforestación y analizar las tendencias, causas de la deforestación en el Perú.

Los bosques Amazónicos representan un alto potencial para la fijación y reservas de carbono. El monitoreo de bosques tropicales utilizando datos del satélite Landsat ya han sido reportados (Broich et al, 2011; INPE, 2002; Killeen et al, 2007; P. Potatov et al, 2012) donde el principal limitante de este tipo de datos es la presencia de cobertura nubosa, problema que está siendo superado utilizando los mejores pixeles de todas las escenas Landsat ETM+ disponibles para el periodo en estudio; esta metodología emplea más de 11,000 escenas Landsat ETM+ tomadas entre los periodos 1999 y 2011 para todo el territorio peruano; y que ya fue aplicada en la Republica Democrática del Congo (P. Potatov et al, 2012). Además, utiliza como información de entrada las bandas 3, 4, 5, 7, el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Burn Ratio (NBR) y más de 500 métricas o variables estadísticas creadas utilizando las bandas mencionadas anteriormente; la toma de muestras se realizan de manera manual en el entorno del módulo Focus de PCI; las muestras tomadas para la generación del mapa de Bosque/No bosque para el año 2000 consideró al bosque primario como clase bosque y las áreas de bosque secundario, suelo, núcleos urbanos, vías de comunicación, herbazales como clase no bosque; mientras que para el mapa de pérdida de bosques húmedos amazónicos entre los años 2000 – 2011 se crearon muestras de pérdida en las áreas donde se muestra una reducción de la cobertura de bosques con respecto al año 2000 y las muestras de no pérdida se realizaron en las áreas donde no hubo pérdida de cobertura de bosques. El algoritmo de clasificación está basado en arboles de decisiones y las métricas fueron desarrollados por el Departamento de Geografía de la Universidad de Maryland de Estados Unidos.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudio

El área de estudio está enfocado en los Bosques Húmedos Amazónicos del Perú, cuyo límite fue definido en el Mapa de Cobertura Vegetal del Perú y donde se calcula una superficie aproximada de 78, 500.000 Ha que corresponden al 53.7% del territorio nacional (Ministerio del Ambiente - MINAM 2009).

2.2 Compilación y creación de insumos satelitales

2.2.1 Landsat ETM+

Para el mapeo de la cobertura de bosque y la pérdida del Bosque Húmedo Amazónico se utilizaron imágenes Landsat ETM+, tomadas entre los años 1999 al 2011, disponibles en el *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS) del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, siglas en inglés). El archivo de imágenes para todo el Perú comprende 11,654 escenas con un porcentaje de nubes de hasta un 80%. Las escenas utilizadas tienen un nivel de procesamiento L1T. Sólo las bandas 3, 4, 5 y 7 fueron normalizadas y utilizadas para la generación de métricas como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Bandas espectrales en imágenes Landsat
(* - incluidas en la series métricas)

<i>Bandas Landsat</i>	<i>Rango Espectral (μm)</i>
Band 1 (blue)	0.452-0.518
Band 2 (green)	0.528-0.609
Band 3 (red)*	0.626-0.693
Band 4 (NIR)*	0.776-0.904
Band 5 (SWIR)*	1.567-1.784
Band 6 (Thermal)	10.45-12.42
Band 7 (SWIR)*	2.097-2.349

2.2.2 MODIS

Un compuesto de 10 años, calculado de un serie temporal de 16-días de MODIS (producto MOD44C) fueron utilizadas para la normalización de las imágenes Landsat - ETM+.

2.2.3 SRTM

Los datos de altitud y pendiente del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) fueron añadidos como información adicional para la clasificación. Asimismo, se utilizó los datos mejorados del SRTM, disponibles en el CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>) a 90 metros de resolución espacial. Finalmente, los datos de elevación del SRTM fueron reproyectados al sistema Sinusoidal, para luego ser remuestreados a 30 metros de pixel. La información de altitud y pendiente fue incluida en la base de datos para la clasificación.

2.2.4 Métricas

El análisis de la serie temporal de imágenes Landsat ETM+ utiliza las métricas multitemporales (DeFries et al. 1995, Hansen et al. 2008) las cuales permiten la detección del cambio de forma precisa durante 11 años de observaciones. El conjunto de datos utilizado para las métricas pasó por un control de calidad (ver ítem 2.3.2), y almacenados en cuadrantes de 2000 pixeles por lado, obteniéndose 458 cuadrantes para la superficie total del país. Las métricas multitemporales *First* (Año 2000) y *Last* (Año 2011), muestran un compuesto de las primeras observaciones libre de nubes para el comienzo de año 2000 y la última observación libre de nubes para el año 2011. En caso no hayan pixeles óptimos en estos años se seleccionaron pixeles de los años vecinos después de 2000 o antes de 2011. También se seleccionaron las tres mejores observaciones (mejores pixeles) para los años 2000 y 2011, en caso no hayan pixeles óptimos en estos años se seleccionaron pixeles de

los años vecinos. A partir de estas tres observaciones se generó la media y mediana para las bandas 3, 4, 5, 7, NDVI y NBR; estos datos mostraron ser menos sensibles al ruido.

Las composiciones de imágenes cercanas a 2000 y 2011 fueron construidas a partir de 5 observaciones libre de nubes correspondientes a fechas cercanas al 15 de Julio para cada año. Estas composiciones son únicamente para presentaciones visuales, y no fueron incluidas dentro del conjunto de datos utilizados para la clasificación, como se puede observar en la figura 1.

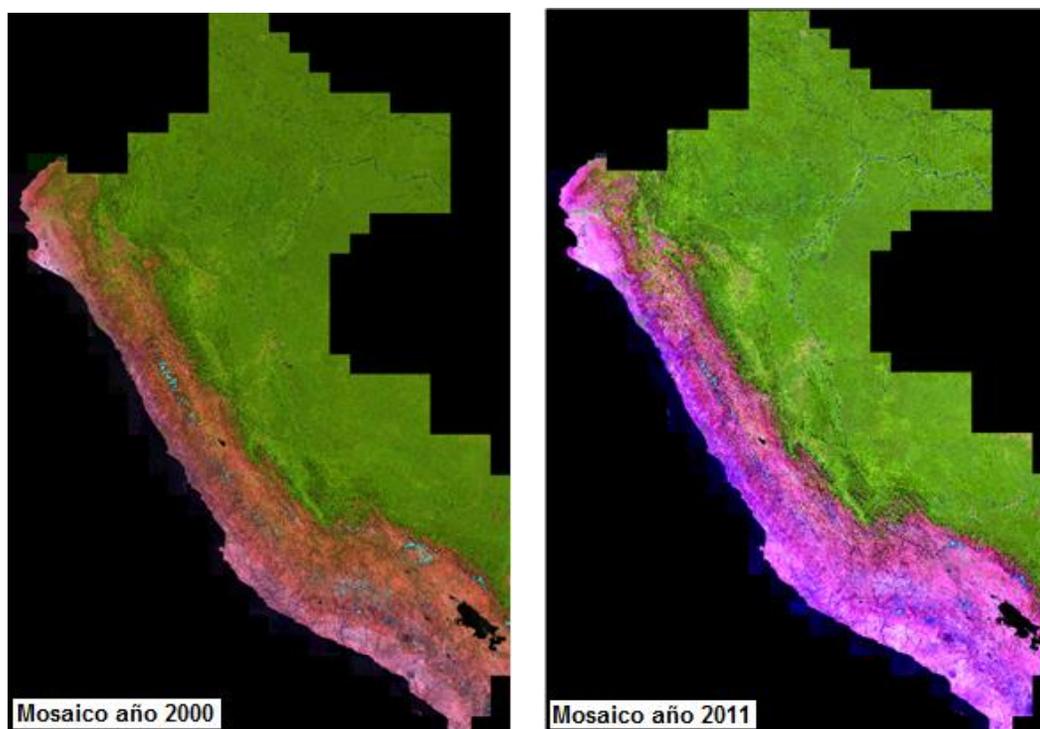


Fig.1. Muestra el promedio de las 5 mejores vistas para los años 2000 y 2011.

Con el conjunto de datos tomados entre el 2000 y 2011 se obtuvieron métricas que representan el mínimo, máximo, desviación estándar, los percentiles 10%, 25%, 50%, 75% y 90% de las bandas 3, 4, 5, 7, NDVI, NBR y los valores medios de reflectancia para

los percentiles seleccionados (max-10%, 10-25%, 25-50%, 75-90%, 90%-max, min-max, 10-90%, y los intervalos de 25-75%). Estas métricas fueron utilizadas principalmente en la clasificación de la pérdida del Bosque Húmedo Amazónico.

2.3 Pre-Procesamiento

2.3.1 Corrección Geométrica y Proyección

Como se mencionó anteriormente el producto Landsat ETM + utilizado es el L1T, el cual se caracteriza por estar rectificado geoméricamente y libre de distorsiones relacionadas con el sensor y es procesado por la USGS EROS. Las escenas Landsat ETM+ vienen en el sistema de proyección UTM y fueron reproyectadas a la proyección Sinusoidal (meridiano central -60° W).

2.3.2 Evaluación de la Calidad

Para la evaluación de la calidad (EC) se utilizaron todas las bandas espectrales y se analizó pixel por pixel, para lo cual se usó un grupo de modelos de detección de nubes, sombras, neblina atmosférica y agua; los umbrales utilizados en estos modelos fueron seleccionados a partir del análisis previo de un grupo de escenas Landsat ETM+. Estos umbrales fueron aplicados al total de la información satelital utilizada. Finalmente el modelo basado en arboles de decisiones identifico los pixeles con mayor probabilidad de estar libre de nubes; este método es descrito por Potapov et al. (2012).

2.3.3 Normalización de Datos

Las escenas Landsat ETM+ tienen variaciones de reflectancia debido a la anisotropía de la superficie y las distintas condiciones atmosféricas en que las imágenes fueron tomadas. Para corregir estos problemas se utilizaron imágenes MODIS, con las que se realizó una

composición libre de nubes de más de 10 años de los productos derivados de las imágenes MODIS (Reflectancia de superficie y Temperatura de brillo).

La normalización de los datos Landsat ETM+ fueron realizados utilizando como datos fuente el producto MOD44C de MODIS, que es producido por la universidad de Maryland (Carroll et al., 2010), se calculó una media del sesgo entre la reflectancia de superficie de MODIS y el nivel digital de Landsat ETM+ para cada banda espectral sobre el terreno dentro de la máscara de la normalización y usado para ajustar los valores de reflectancia de las imágenes Landsat ETM+. Para excluir las nubes, sombras de nubes y las áreas que representan rápido cambio de cobertura de suelo, sólo los pixeles con diferencia de reflectancia MODIS-Landsat ETM+ debajo de 0.05 se incluyeron en la máscara de normalización. Para remover los efectos de la anisotropía de superficie combinado con las variaciones en la visión y geometría solar, el sesgo de reflectancia fue modelado usando un ángulo de exploración como variable independiente:

$$\rho_{\text{norm}} = \rho - (A * \text{scan} + B)$$

donde A y B son coeficientes derivados del modelo y scan relacionado al ángulo de exploración de Landsat ETM+ (exploración, grados) con el sesgo de la reflectancia Landsat-MODIS. La normalización radiométrica se realizó independientemente para cada banda espectral e imagen Landsat ETM+.

2.3.4 Salida de datos

Para facilitar el procesamiento de Métricas, la reflectancia normalizada ha sido reducida a un rango de canal de datos de 8 bits usando un factor de escala (**g**):

$$\text{DN} = \rho * g + 1$$

El valor del factor **g** fue seleccionado independientemente para cada banda para mantener el rango dinámico de cada banda específica (Tabla 2).

Tabla 2. Coeficiente de reajuste (**g**)

Banda Landsat	g
Band 3 (Red)	508
Band 4 (NIR)	254
Band 5 (SWIR)	363
Band 7 (SWIR)	423

Además de las bandas de reflectancia, dos índices fueron calculados y añadidos al conjunto de *Métricas*:

$$B3/B4 \text{ ratio (NDVI)} = ((B4-B3)/(B4+B3))*100+100$$

$$B4/B5 \text{ ratio (NBR)} = ((B4-B5)/(B4+B5))*100+100$$

2.4 Procesamiento de Datos

En esta etapa se evaluaron los criterios para la creación de áreas de entrenamiento y la posterior clasificación de coberturas.

2.4.1 Clasificación de cobertura de Bosque – No Bosque año 2000

El mapeo de cobertura de bosque para el año 2000 se realizó a partir de la creación de áreas de entrenamiento, las cuales fueron realizadas de forma manual y basadas en interpretación visual (brillo-color-textura). La combinación RGB543 fue utilizada como base para la creación de muestras. Esta combinación se caracteriza por mostrar en la mayoría de los casos en tonos verde oscuro la cobertura forestal en estado maduro y en tonos verde brillante la vegetación en crecimiento; en esta combinación los suelos van a tener tonos variados debido a su composición química, textura y contenido de humedad; en la mayoría de los casos presentaran tonos rosáceos, fucsias o rojizos. En el caso del agua, esta presentará tonos negros y azulados. Ver fig.2.

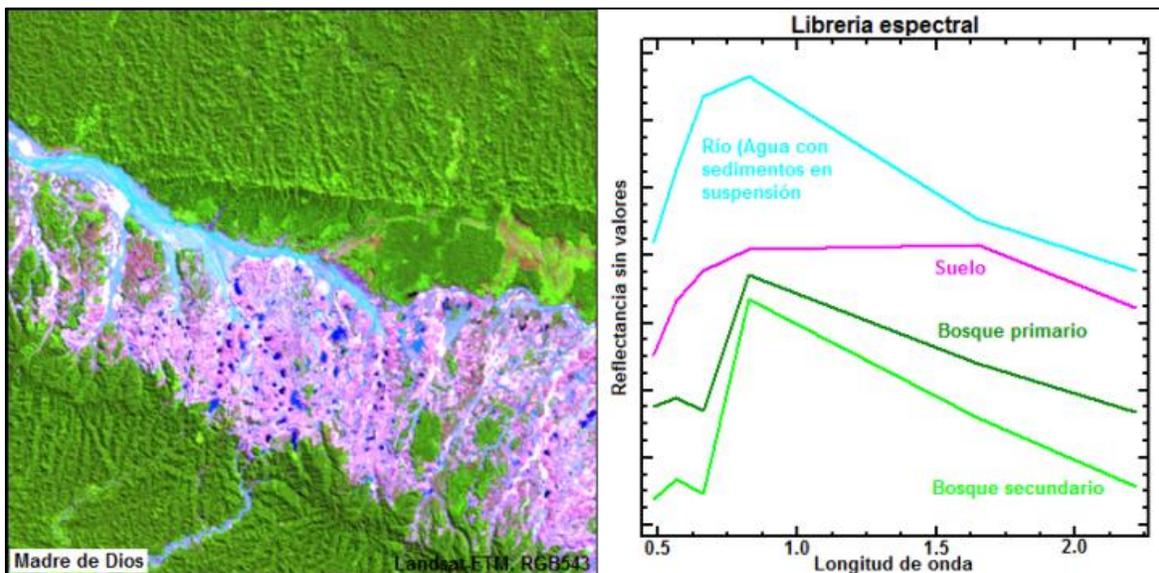


Fig.2. Muestra la combinación RGB543 y las firmas espectrales de agua, suelo y bosques;

La imagen muestra claramente las diferencias de brillo-color-textura entre los distintos tipos de materiales; las firmas espectrales muestran las distintas características de absorción y reflectividad que poseen estos materiales. En el caso específico de bosque primario y bosque secundario se caracterizan por tener alta reflectividad en la banda 4, y también se puede ver que los bosques secundarios tienen mayor reflectividad que los bosques primarios, esta diferencia permite su discriminación.

El clasificador permite crear dos tipos de muestras de entrenamiento (Bosque - No bosque); las áreas de entrenamiento de Bosque fueron tomadas en áreas con presencia de bosque primario (Bosque ribereño, bosque de terrazas, bosque de colinas y lomadas, bosque de pacales, aguajales, bosque de varillales); mientras que las áreas de entrenamiento de No bosque fueron tomadas en áreas con presencia de bosque secundario, herbazales, sabana hidrofítica, áreas de cultivo, presencia de suelo, área urbana, infraestructura. Ver fig.3.

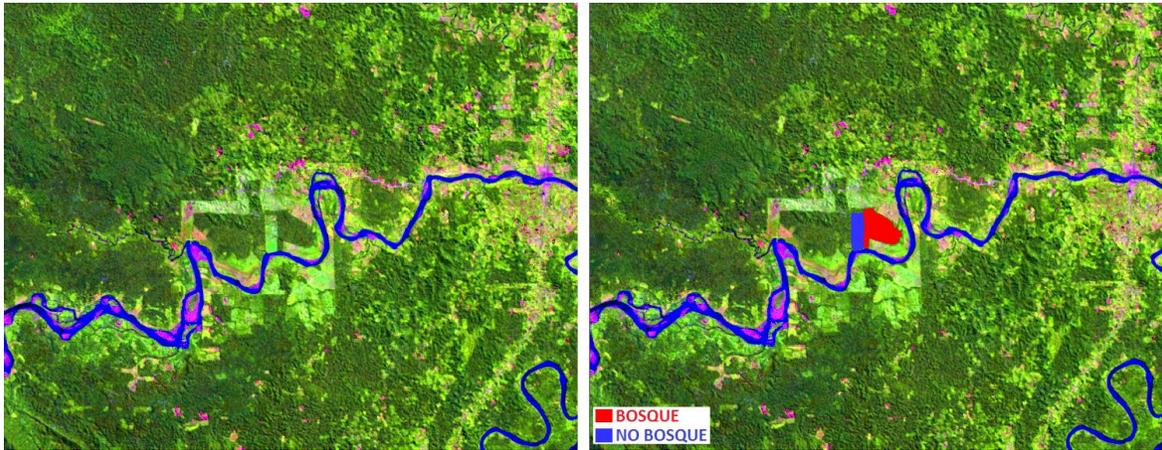


Fig.3. Las imágenes muestran la combinación RGB543 y la misma imagen con las muestras de Bosque y No bosque tomadas manualmente.

Finalmente se realizó la clasificación digital de los datos utilizando un algoritmo que está basado en un árbol de decisiones (bagged decision trees); se obtuvieron buenos resultados a partir de la décima iteración; tomando en cuenta que se realizaron un total de 15 iteraciones. Esta información fue presentada para su evaluación visual a un panel de expertos, los cuales identificaron problemas de omisión/comisión en algunos pacales, aguajales y herbazales. Estos problemas serán resueltos en la versión final del mapa.

2.4.2 Clasificación de pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos entre los años 2000-2011

La clasificación de la pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos tuvo dos tipos de muestras de entrenamiento (Pérdida y No pérdida). Las muestras de pérdida se enfocaron en las áreas que muestran pérdida de cobertura de bosques siguiendo los criterios que se detallan a continuación en la tabla 3:

Tabla 3. Criterios para la creación de muestras de entrenamiento en el mapa de pérdida 2000-2011.

Data 2000	Data 2011	Clasificación
Bosque primario	Bosque secundario/suelo/áreas de cultivo/otros	Pérdida
Bosque primario	Lecho de río	Pérdida

Las muestras se realizaron de forma manual, teniendo como base los mosaicos de imágenes Landsat - ETM+ del año 2000 (First), 2011 (Last) y la métrica Avmax90 que muestra la mayor presencia de suelo en todo el periodo de estudio y una composición de cambio.

La composición de cambio se realizó cruzando la banda 5 de la métrica Avmax90 y las banda 5 de la métrica first del año 2000, obteniéndose una imagen donde los tonos rojos muestran algún tipo de cambio entre las coberturas de ambos años. Esta imagen fue utilizada como referencia para la creación de las muestras de entrenamiento, las cuales fueron distribuidas en todo el ámbito de estudio como se observa en la figura 4.

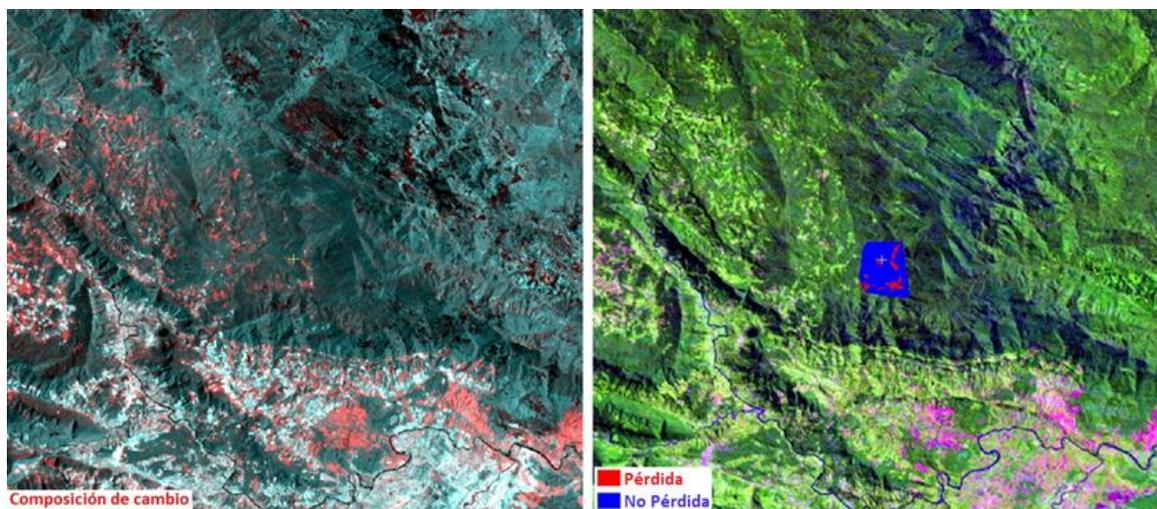


Fig.4. La composición de cambio R: Avmax90, G: Banda 5 2000, B: Banda 5 2000; resalta las áreas de cambio en tonos rojos, basados en esa imagen y verificando si el cambio corresponde a pérdida de bosque se procedió a realizar las muestras.

El proceso de clasificación fue similar al utilizado en el mapeo de Bosque-No bosque realizándose 15 iteraciones de la misma manera que en el proceso de clasificación de Bosque – No Bosque. Una vez tenido la capa de pérdida de cobertura entre los años 2000 - 2011 se aplico un algoritmo que identifica el año en que sucedió la pérdida (Ver fig.5). Esto es posible porque se tiene los datos de las fechas de adquisición de cada pixel. Posteriormente se evaluó el producto para proceder a realizar una edición manual.

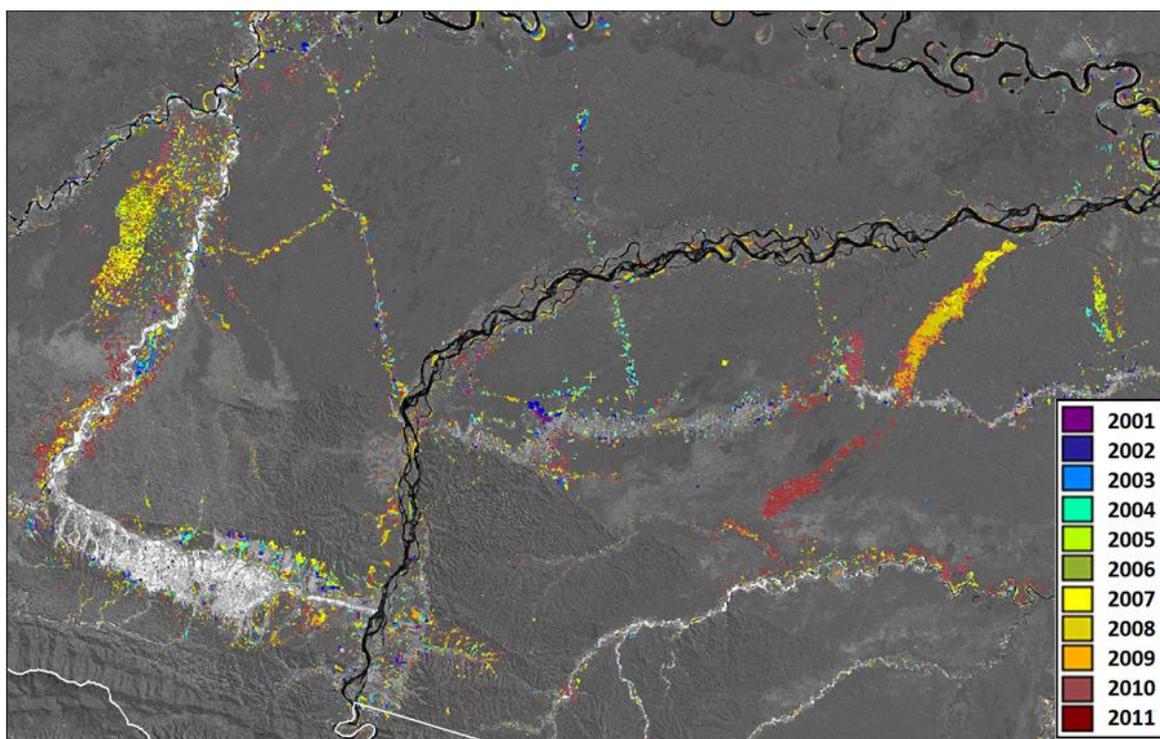


Fig.5. La imagen muestra los resultados del cambio (pérdida) de cobertura forestal en un sector de la provincia de Manu en el departamento de Madre de Dios. Este cambio de cobertura de debe principalmente a la expansión de la minería informal.

2.5 Post-Clasificación

La información preliminar generada a partir de la clasificación semiautomática fue presentada a un panel de expertos realizado el día 8 de Abril del año 2013 en el Auditorio del Ministerio del Ambiente (MINAM), la reunión contó con la presencia de representantes de diversas instituciones del Estado como el MINAM, MINAGRI, OTCA, SERNANP, UNALM, donde el panel de expertos evaluó visualmente la capa de bosque del año 2000 e identificaron los distintos tipos de cobertura vegetal existentes en la amazonia y algunos problemas de omisión/comisión en áreas principalmente cubiertas por aguajales, pacales y herbazales. Estas áreas fueron corregidas mediante procesos digitales y edición manual.

2.6 Proceso de validación

Para el proceso de validación del mapa de Bosque/No bosque del año 2000 y cambio en la cobertura forestal se utilizó un método estratificado aleatorio, dividiéndose el área en estudio en dos estratos: Áreas con mayor probabilidad de pérdida y áreas con menor probabilidad de pérdida. A partir de estos estratos se generaron aleatoriamente 30 cuadrículas de 12 x 12 km y en cada cuadrícula se identificaron 100 puntos al azar; adicionalmente se adquirieron imágenes RapidEye del año 2011 para las treinta cuadrículas.

Se utilizaron 3,000 puntos para la validación y la interpretación fue realizada con imágenes Landsat 5 TM y 7 ETM+ del año 2000 vs imágenes RapidEye del 2011. Con esta información se obtuvo la siguiente matriz de confusión:

Tabla 1: Matriz de confusión

	Bosque	Pérdida de bosque	Total	Exactitud Usuario (%)	Error Comisión (%)
Bosque	99.30	32.93	95.26	97.89	2.11
Pérdida de bosque	0.70	67.07	4.74	86.15	13.85
Total	100.00	100.00	100.00		
Exactitud Productor	99.30	67.07		Exactitud global (%): 97.33	
Error Omisión (%)	0.7	32.93			

3. RESULTADOS

La información generada fue recortada en base al límite de Bosques Húmedos Amazónicos derivado del Mapa de Cobertura Vegetal (MINAM, 2009); a partir de esta información se calculó el área de las capas temáticas.

3.1 Superficie de Bosque y No bosque para el año 2000

La superficie de bosque es de 70,928.238 ha, la superficie de No bosque es de 5,989.852 ha y la de ríos es de 1,395.906 ha. Ver tabla 5.

Tabla 2: Superficie (ha) de bosque, no bosque y ríos para el año 2000.

Cobertura	Superficie	
	Área (Ha)	Porcentaje
Bosque 2000	70,928,238	90.6%
No Bosque 2000	5,989,852	7.6%
Ríos 2000	1,395,906	1.8%
Total	78,313,996	100%

3.1 Pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos en el periodo 2000 - 2011

El área total de pérdida de cobertura de bosques entre los años 2000 y 2011 fue de 1,172.648 ha. Ver tabla 6.

Tabla 6: Superficie de pérdida de cobertura de bosques entre los periodos 2000 al 2011.

Cobertura	Superficie	
	Área (ha)	Porcentaje
Bosque 2011	69,611,561	88.9%
No Bosque 2011	5,817,720	7.4%
Perdida De Bosques	1,172,648	1.5%
Ríos 2011	1,712,067	2.2%
Total	78,313,996	100.0%

El promedio de la pérdida anual de cobertura de Bosques Húmedos Amazónicos para los 11 años analizados es de 106,604 hectárea, equivalente al 0.15% de la superficie de Bosques Húmedos Amazónicos. En la figura 6 se muestra la pérdida anual de Bosques Húmedos Amazónicos.

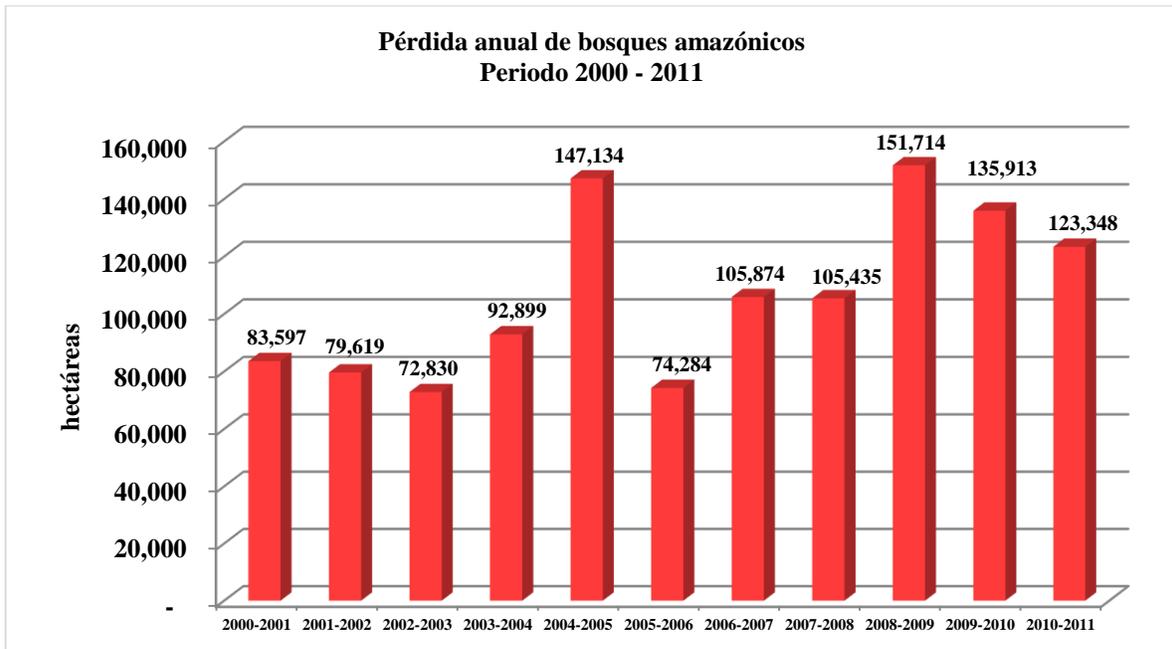


Fig. 6: Superficie de pérdida anual de Bosques Húmedos Amazónicos entre los periodos 2000 al 2011.

4. CONCLUSIONES

Sobre los resultados:

La superficie de Bosques Húmedos Amazónicos para el año 2000 es de 70,928,238 ha que representan el 55% del territorio nacional.

La superficie de pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos entre los años 2000 al 2011 fue de 1,172,648 ha. lo que representan el 1.5% del total del área de Bosques Húmedos Amazónicos.

La tasa promedio anual de pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos para el periodo en estudio (2000 – 2011) fue de 0.15% equivalentes a 106,604 ha. Sin embargo tomando como referencia los últimos 5 años esta tasa se incrementa en 0.18% equivalente a 124,457 ha. y si se toman los últimos 3 años, esta tasa se incrementa en 0.2% equivalente a 136,992 ha.

Los datos de pérdida anual de bosques presentan una elevada pérdida en el año 2005, esto se debe a que en ese año ocurrió una sequía intensa en gran parte de la amazonia, esto fue corroborado por estudios de la propia NASA

(<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-025>) esto lo cual propició una mayor pérdida de cobertura boscosa.

La información de pérdida anual de Bosques Húmedos Amazónicos podrá ser utilizada para analizar los factores directos e indirectos que influenciaron en la pérdida de cobertura de bosques.

Los valores obtenidos en la matriz de confusión nos indican que los resultados del mapeo de pérdida de Bosques Húmedos Amazónicos muestran alto grado de exactitud.

Sobre la metodología empleada

Los resultados obtenidos han demostrado que la metodología propuesta por la Universidad de Maryland fue eficaz y eficiente en el mapeo de cobertura de Bosque - No bosque y la pérdida de cobertura de bosque entre los periodos 2000 al 2011.

Los productos Landsat - ETM L1T tienen buena correlación espacial entre escenas de distintas fechas, esto permitió trabajar con el total de imágenes Landsat - ETM L1T disponibles para todo el territorio peruano, sin tener la necesidad de hacer una corrección geométrica a los datos utilizados.

La normalización de datos Landsat - ETM+ a valores de reflectancia utilizando datos MODIS, permitió tener una información de reflectancia uniforme entre todas las imágenes utilizadas, esto permitió realizar la clasificación de coberturas a nivel nacional; sin este procedimiento hubiese sido imposible hacer un mapeo a nivel nacional.

La utilización de métricas permitió tener un gran paquete de información de entrada para la clasificación, esto permitió tener una mayor capacidad de discriminación y una mejor identificación de las coberturas objetivo.

El proceso de creación de muestras de entrenamiento realizadas por los intérpretes a partir de la interpretación visual, es un paso fundamental y está directamente ligado a la calidad de los resultados.

La presentación de resultados preliminares al panel de expertos fue esencial el reconocimiento de distintos tipos de cobertura vegetal y la identificación de áreas mapeadas erróneamente.

El proceso de edición digital y manual permitió levantar las observaciones identificadas en la reunión con el panel de expertos, lográndose afinar y mejorar los resultados obtenidos.

5. AGRADECIMIENTOS

El proyecto REDD+ MINAM a las cooperantes KfW Entwicklungsbank, Silva Carbon, Forest Carbon Markets and Community (FCMC), Conservation International, y Fundación Gordon & Betty Moore.

6. BIBLIOGRAFIA

Broich, M., Hansen, M. C., Stolle, F., Potapov, P. V., Margono, B. A., & Adusei, B. (2011). Remotely sensed forest cover loss shows high spatial and temporal variation across Sumatera and Kalimantan, Indonesia 2000–2008. *Environmental Research Letters*, 6/1, doi:10.1088/1748-9326/6/1/014010.

Carroll, M., Townshend, J. R. G., Hansen, M. C., DiMiceli, C., Sohlberg, R., & Wurster, K. (2010). Vegetative cover conversion and vegetation continuous fields. In B. Ramachandran, C. Justice, & M. Abrams (Eds.), *Land remote sensing and global environmental change: NASA's EOS and the science of ASTER and MODIS*. New York: Springer.

DeFries, R., Hansen, M., & Townshend, J. (1995). Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data. *Remote Sensing of Environment*, 54, 209–222.

Hansen, M. C., Roy, D. P., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C. O., & Altstatt, A. (2008). A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change and preliminary results for Central Africa. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2495–2513.

INPE [Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais] (2002). Deforestation estimates in the Brazilian Amazon. São José dos Campos: INPE. Available at <http://www.obt.inpe.br/prodes/>.

Killeen, T. J., Calderon, V., Soria, L., Quezada, B., Steininger, M. K., Harper, G., Solorzano, L. A., & Tucker, C. J. (2007). Thirty years of land-cover change in Bolivia. *Ambio*, 36 (7), 600-606.

MINAM [Ministerio del Ambiente del Perú] (2009). Mapa de Cobertura Vegetal del Perú. Disponible en <http://www.minam.gob.pe>

NASA [National Aeronautics and Space Administration]. Landsat 7 Science Data Users Handbook. Available at <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>

Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M., Adusei, B., Broich, M., Altstatt, A., Mane, I., Justice, C. (2012). Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 112, 106–116.