

## Metodología preliminar para la detección y cuantificación temprana de la pérdida de bosques húmedos tropicales de Perú usando Landsat 8

Christian Vargas Gonzales<sup>1</sup>  
Andrés Alejandro Leon Taquia<sup>1</sup>  
Peter Gonsalo Hinostraza Chauca<sup>2</sup>  
Freddy Ronald Gutiérrez Serna<sup>2</sup>  
Urpi Tania Brioso Bolivar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Proyecto Apoyo a la DCI – WWF Perú  
Av. 2 de mayo 1545 5to. Piso, San Isidro Lima - Perú  
christian.vargas@wwfperu.org

<sup>2</sup>Programa Nacional de Conservación de Bosques – MINAM  
Av. 2 de mayo 1545 5to. Piso, San Isidro Lima - Perú

**Abstract:** This article shows the preliminary results obtained from the methodology that we have developed for the detection and early quantification of loss of Amazon rainforest. This methodology was designed and calibrated using Landsat 8 images—specifically, path/row: 006/066. Of the 13 images that were downloaded, 6 were taken between 2014-2015 and 7 were taken in 2016. All images were calibrated in TOA reflectance. Furthermore, clouds, mists, and shadows were eliminated using a decision tree based model. The images from 2014-2015 were used for the development and calibration of a forest loss detection model. In order to define the loss of forests, a model of spectral mixing was made between the forested and deforested area. This model allowed to set thresholds for the detection of forest loss at the sub-pixel level and without the need to create training samples. Areas defined as having loss of forests from 2014-2015 were eliminated from the images of 2016 in order to not quantify the forest losses that occurred in previous years. The results of the multi-temporal quantification of forest loss were verified using high-resolution images and fieldwork.

**Keywords:** forest loss, forest, landsat 8, early detection, humid tropical forest

### 1. Introducción

Según los datos del Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) existía una superficie de 71, 093, 013 ha de bosques húmedos amazónicos en el Perú al año 2000, esta superficie se redujo a 69, 380, 729 ha en el 2014, esto equivale aproximadamente a 32, 281, 231, 580 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>-e) solamente en arboles vivos (MINAM, 2015).

En la actualidad el MINAM viene monitoreando y cuantificando los Bosques Húmedos Tropicales del Perú con el apoyo técnico - científico del departamento de Geografía de la Universidad de Maryland y el Instituto Carnegie. Desde el año 2016 el laboratorio Global Land Analysis & Discovery (GLAD) de la Universidad de Maryland puso a disposición datos de alerta temprana de la pérdida de bosques para Perú, estos datos están siendo usados por el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC) y distribuidos en una plataforma web multiusuario. Este sistema genera alertas tempranas de la pérdida de bosques hasta cada 8 días y utiliza como insumo los datos de los satélites Landsat 7 y 8 (Hansen et, al. 2016).

En septiembre de 2014, el Gobierno de Perú firmó la Declaración Conjunta de Intención (DCI) con el Gobierno del Reino de Noruega y el Gobierno de la República Federal de Alemania para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la deforestación y la degradación forestal (REDD +) y promover el desarrollo sostenible en el Perú. En este contexto, el 11 de mayo de 2015, WWF-Perú y el PNCB firmaron un acuerdo marco de cooperación con el propósito de unir esfuerzos por la conservación y uso sostenible de los bosques peruanos, a través de la formulación e implementación de programas, proyectos,

actividades de investigación, capacitación y difusión. En diciembre de 2015, la Agencia Noruega para la Cooperación y el Desarrollo (NORAD) aprobó el proyecto “Apoyo a la implementación de la Declaración Conjunta de Intención sobre REDD+ de Perú, Noruega y Alemania” (Proyecto de Apoyo a la DCI). La metodología que estamos desarrollando se encuentra en el marco de este proyecto y es un apoyo al objetivo 3 del proyecto “La deforestación en dos regiones de la amazonia peruana San Martín y Ucayali es monitoreada”.

El desarrollo de esta metodología se realiza a la necesidad de que en el futuro el Perú disponga de una metodología propia para el monitoreo de los cambios en la cobertura de bosques. Esta metodología representa un aporte sustantivo a los procesos metodológicos utilizados por el MINAM hasta la fecha, además es una propuesta que contribuye a la sostenibilidad del monitoreo de cambios en la cobertura de bosques, al ser una metodología ajustada a la realidad nacional, que a su vez contribuye al desarrollo e investigación del país, obedeciendo a una necesidad pública, como es la conservación de los ecosistemas.

La metodología que se está desarrollando se basa en un análisis multitemporal de imágenes Landsat 8, a partir de la cual se han desarrollado modelos de detección de nubes, neblina, sombras y pérdida de bosques a nivel de subpixel, se logró detectar la pérdida de bosques sin intervención de muestras de entrenamiento. Esta metodología puede usarse para la detección temprana de la deforestación y posteriormente esta detección puede usarse para la cuantificación anual de pérdida de bosques.

## 2. Metodología

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio encuentra localizada en la amazonia peruana, específicamente en el path/row: 006/ 066 de Landsat, que cubre parcialmente parte de las provincias de Coronel Portillo, Padre Abad y Puerto Inca en los Departamento de Ucayali y Huánuco respectivamente

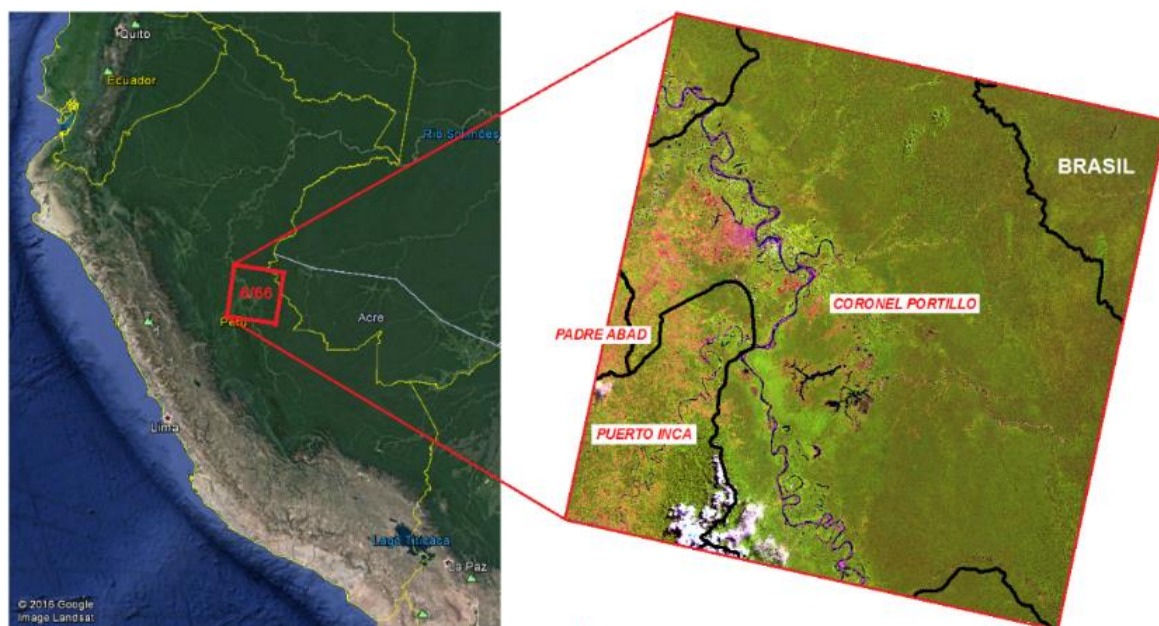


Figura 1. Ubicación del área de estudio, path/row: 006/066

## 2.2 Datos

### Capa de Bosque del año 2014

El Ministerio del Ambiente de Perú realizo el mapeo y cuantificación de los bosques húmedos amazónicos del Perú entre los años 2000 al 2014 (MINAM, 2014) utilizando imágenes Landsat, los detalles metodológicos se encuentran descritos en (MINAM, 2014 y Potapov et, al. 2014 ) la capa de bosque del año 2014 fue recortada a las dimensiones del path/row: 006/066, donde se excluyó el sector noreste que pertenece a Brasil.

### Imágenes del satélite Landsat 8

El satélite Landsat 8 fue lanzado el 11 de febrero del 2013, tiene una resolución temporal de 16 días, un tamaño de pixel de 30 m, una cobertura aproximada de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste y posee dos sensores, el Thermal Infrared Sensors (TIRS) y el Operational Land Imager (OLI), en este estudio solo se usaron las bandas espectrales del sensor OLI excluyendo la banda pancromática y cirrus. Ver tabla 1.

Tabla 1. Bandas espectrales del sensor OLI y TIRS (Modificado de USGS, 2016)

	Bandas	Rango espectral (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)	1 - Costera	0.43 - 0.45	30
	2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	6 - Infrarrojo de onda corta (SWIR 1)	1.57 - 1.65	30
	7 - Infrarrojo de onda corta (SWIR 2)	2.11 - 2.29	30
	8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Thermal Infrared Sensors (TIRS)	10 - Infrarrojo termal (TIR 1)	10.60 - 11.19	100
	11 - Infrarrojo termal (TIR 2)	11.50 - 12.51	100

Se usaron 13 imágenes con un nivel de procesamiento level 1 corrección de terreno (L1T), el cual se caracteriza por estar ortorectificado y libre de distorsiones relacionadas con el sensor, este procesamiento es realizado por el Earth Resources Observation and Science Center (EROS) del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en ingles).

### Procesamiento y clasificación de pérdida de bosques

Todas las imágenes fueron calibradas a reflectancia al tope de la atmosfera (TOA), para reducir el área de estudio y trabajar solo en áreas con presencia de bosque las imágenes fueron recortadas en base a la capa de bosques húmedos amazónicos del año 2014. El siguiente paso fue esmascarar las nubes, neblina y sombras de las imágenes, para esto se hizo un árbol de decisiones cuyos umbrales se fueron calibrando conforme se usaban las imágenes. Las imágenes enmascaradas fueron utilizadas para la identificación de pérdida de bosques, para esto se realizó un árbol de decisiones, cuyos parámetros fueron definidos en base al análisis del modelo de mezcla espectral del bosque y áreas deforestada. Para el mejor entendimiento del modelo espectral se utilizaron imágenes de alta resolución disponibles en Google Earth y la simulación de una grilla de pixeles de Landsat (30 x 30m).

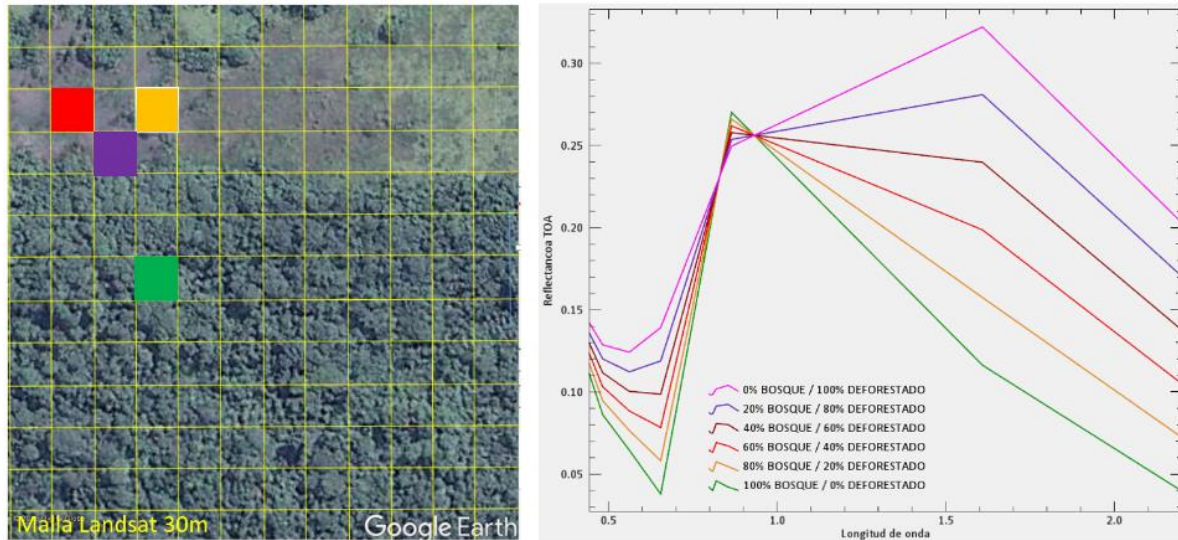


Figura 2. Imagen de alta resolución con grilla simulada de Landsat 8 y modelo de mezcla espectral entre bosque y área deforestada.

A partir del análisis de la respuesta espectral se realizó un árbol de decisiones. Para determinar pérdida de bosque se utilizó el ratio SWIR 1/ NIR y el porcentaje de pérdida de bosque en el pixel fue determinado por los umbrales derivados del cociente del modelo de mixtura espectral. Estos umbrales permitieron identificar aproximadamente cual es el porcentaje de pérdida de bosques ocurrido dentro del pixel. El comportamiento del mapeo de pérdida de bosques utilizando distintos umbrales fue realizado utilizando las imágenes del año 2014, 2015 y utilizando el valor máximo de todas las bandas de estas imágenes. Finalmente se consideró como pérdida de bosques las áreas con umbrales mayores a 0.6 y como perturbación de bosques a las áreas con valores de umbral entre 0.6 y 0.5. Las áreas de perturbación solo fueron mapeadas para la métrica de máximo valor de las imágenes del año 2014 y 2015.

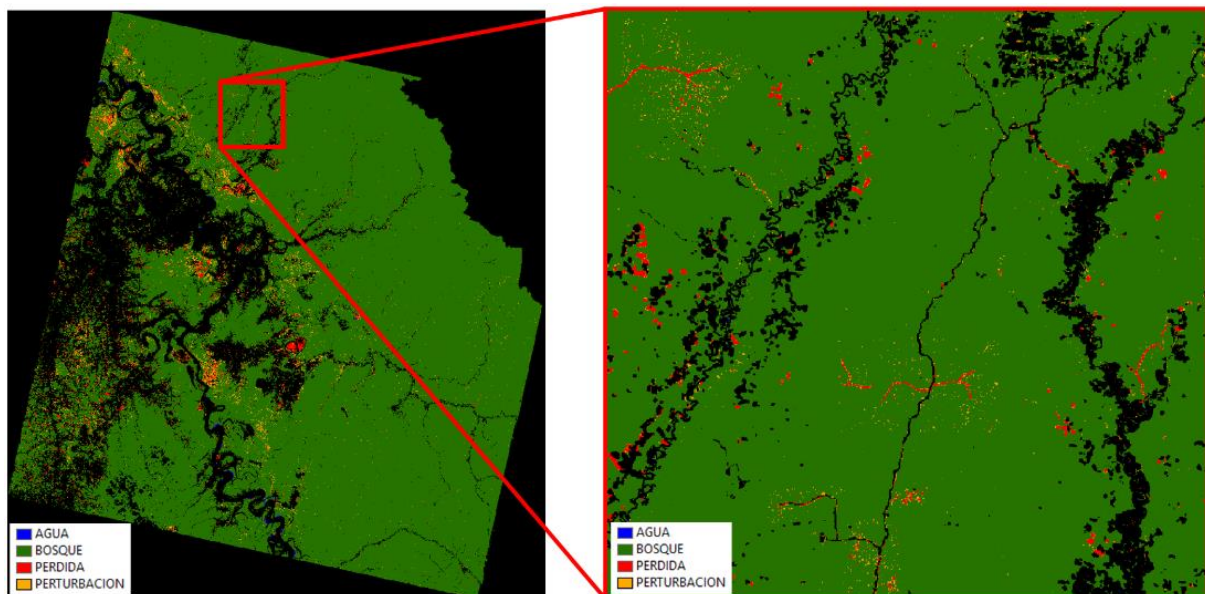


Figura 3. Mapeo de pérdida y perturbación de bosques en la métrica máximo valor para las imágenes de los años 2014 y 2015. Se puede observar tala selectiva alrededor de caminos creados especialmente para este fin.

Para evitar falsos positivos en el mapeo y cuantificación de la pérdida de bosques del año 2016 todas las áreas mapeadas como pérdida de bosques en las imágenes de los años 2014 y 2015 fueron excluidas de las imágenes del 2016. Las imágenes analizadas para el año 2016 corresponden a los días julianos 009, 025, 169, 185, 201, 217, 233 a las cuales se aplicó de forma individual el árbol de decisiones para la detección de pérdida de bosques.

### Verificación de áreas de pérdida de bosques

Las áreas identificadas como pérdida de bosques fueron verificadas visualmente utilizando imágenes de alta resolución disponibles en el servidor de PlanetLab (RapidEye y Dove) y en visita de campo. La ubicación de la verificación de campo de las parcelas deforestadas fue en el Distrito de Masisea, Provincia de Coronel Portillo.

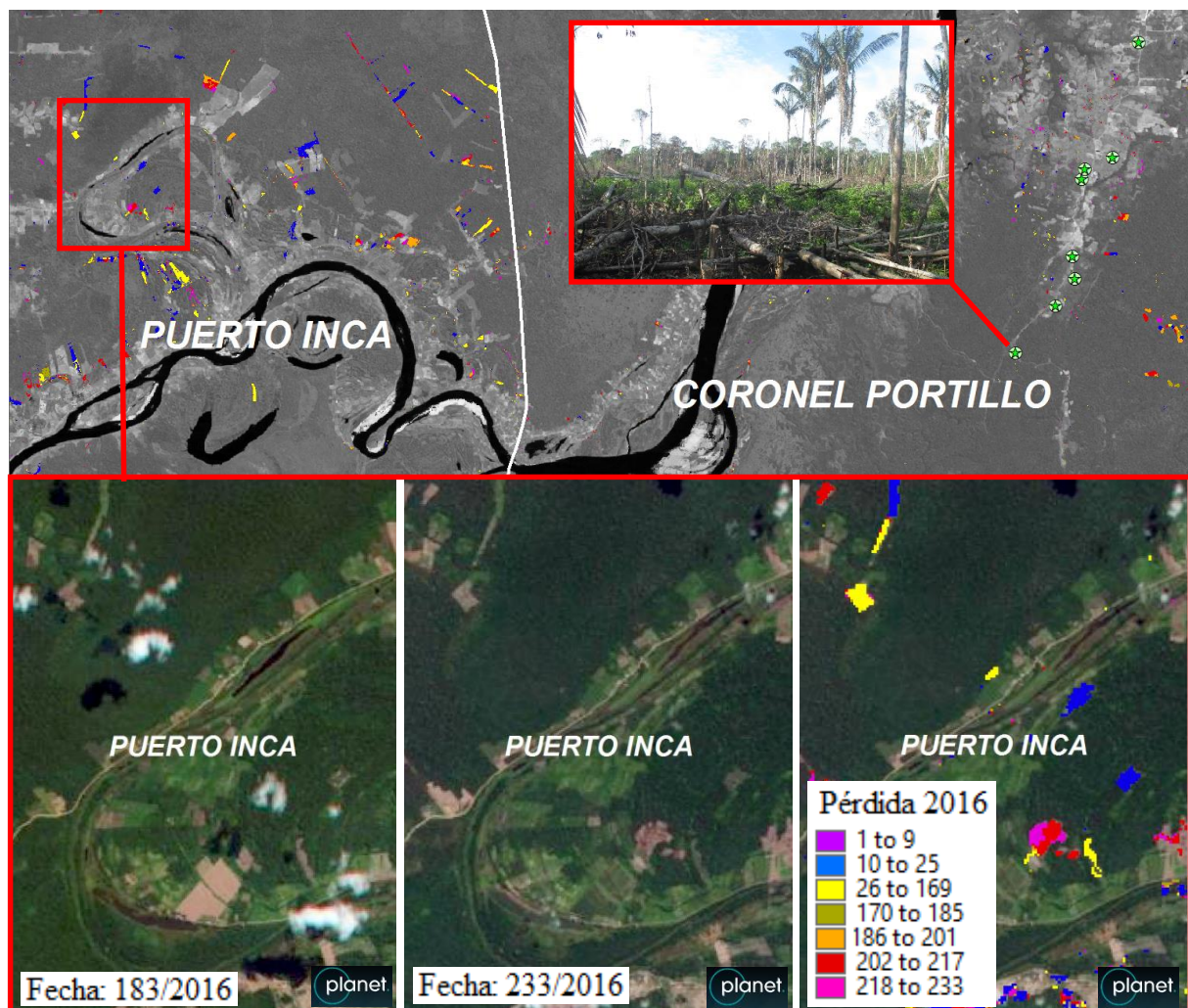


Figura 4. Resultados de la detección multitemporal de pérdida de bosques para el año 2016 y la comprobación en campo y utilizando imágenes de alta resolución.

### 3. Resultados y discusión

El árbol de decisiones creado para el mapeo de nubes, neblina y sombras presento buenos resultados, en el caso de la neblina los umbrales variaron dependiendo de la imagen, debido a la distinta intensidad de reflectancia de esta cobertura. Para que el árbol de decisiones tenga umbrales fijos se podrían hacer una normalización de reflectancia entre escenas.

El modelo espectral entre bosque y área deforestada permitió inferir el porcentaje aproximado de la pérdida de bosques dentro de un pixel, esta técnica podría mejorarse

ampliando el número de muestras identificadas como pixeles puros de bosque y áreas deforestadas.

El árbol de decisiones creado para la detección de pérdida de bosques permitió detectar la pérdida de bosques, se consideró como pérdida de bosques los pixeles mixtos hasta un cociente mayor a 0.7 y 0.6, esto con la finalidad de evaluar el comportamiento de pérdida de los bosques en pixeles mixtos de hasta un aproximado de 65% y 80% de área deforestada dentro del pixel respectivamente, esto a su vez fue asociado a la cobertura de nubes presenta en cada imagen analizada. Ver gráfico 1.

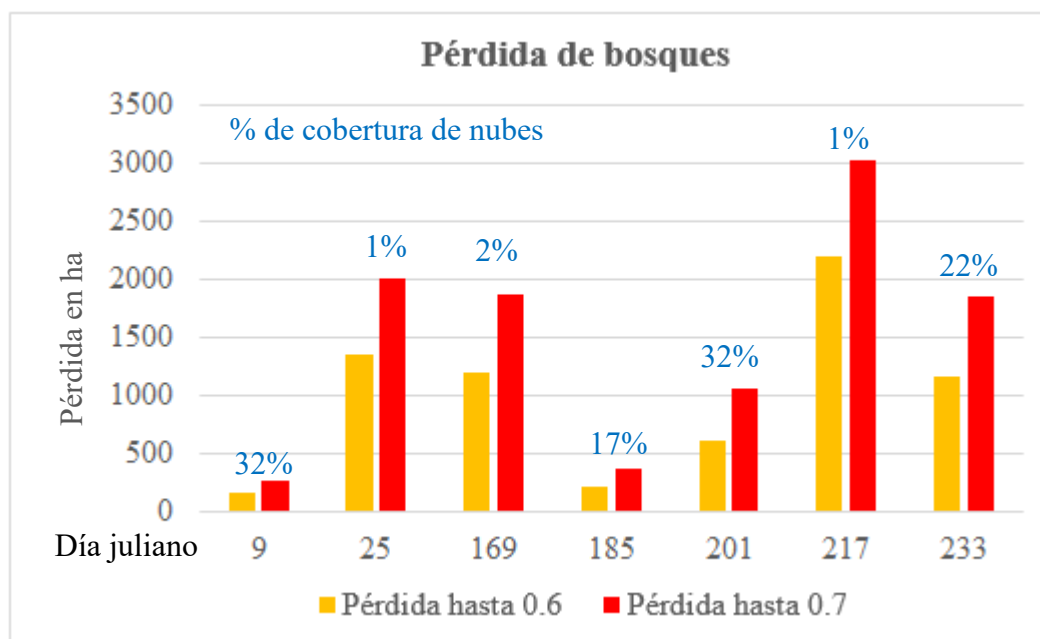


Grafico 1. Cuantificación de la pérdida de bosques utilizando los umbrales 0.7 y 0.6 para el año 2016.

Las barras demuestran que la pérdida detectada esta relacionada al porcentaje de nubes presente en las imágenes, siendo las imágenes con menor presencia de nubes las que detectaron mayor pérdida de bosques, la pérdida de bosques con un umbral de hasta 0.6 mostro un notable incremento en la detección, inspecciones visuales en las imágenes mostraron que entre el umbral 0.6 y 0.7 hay mucha pérdida de bosques que se dan de forma natural en áreas con presencia de aguajales y bosques ribereños.

El umbral entre 0.6 y 0.5 detecta tala selectiva de bosque, bosques intervenidos, y cambios naturales en la cobertura de bosques.

Las verificaciones hechas utilizando imágenes de satélite de alta resolución y visitas en campo demostraron que la detección de pérdida de bosques dio buenos resultados.

Los próximos pasos para mejorar la metodología será el desarrollo de un método de normalización de la radiometría entre imágenes, crear un modelo de mixtura espectral entre bosque y área deforestada que incluya un número mayor de muestras, hacer una evaluación estadística de la exactitud de los resultados obtenidos y finalmente automatizar la metodología mediante el uso de programación.

#### 4. Conclusiones

El árbol de decisiones utilizado para la detección de nubes, neblina y sombras permitió eliminar (Enmascaramiento) de las imágenes Landsat estos tipos de cobertura; este proceso es necesario debido a que muchas nubes y neblina podrían ser confundidas como áreas deforestadas.

El modelamiento de mixtura espectral entre el bosque y el área deforestada permitió identificar un ratio que permita analizar el porcentaje aproximado de pérdida de bosque dentro de un pixel, a partir del cual se diseñó un árbol de decisiones con umbrales predeterminados, esto permite tener un método de clasificación de pérdida de bosques que pueda ser aplicado de forma sistemática a otras imágenes Landsat 8.

### **Referencias Bibliográficas**

Hansen et, al. (2016). **Humid tropical forest disturbance alerts using Landsat data**. Environ. Res. Lett. 11 034008.

MINAM 2015. **Presentación de Perú de un Nivel de Referencia de Emisiones Forestales 17 (NREF) para reducir las emisiones por deforestación en la Amazonía 18 Peruana**. Disponible en: [http://redd.unfccc.int/files/2015\\_submission\\_frel\\_peru\\_es.pdf](http://redd.unfccc.int/files/2015_submission_frel_peru_es.pdf). Acceso en 7.nov. 2016.

Minam 2014, **Memoria Descriptiva del Mapa de Bosque/ No Bosque año 2000 y Mapa de pérdida de los Bosques Húmedos Amazónicos del Perú 2000-2011**. Disponible en: [http://www.bosques.gob.pe/archivo/files/pdf/memoria\\_descriptiva\\_2000.pdf](http://www.bosques.gob.pe/archivo/files/pdf/memoria_descriptiva_2000.pdf)

Potapov et, al (2014). **National satellite-based humid tropical forest change assessment in Peru in support of REDD+ implementation**. Environ. Res. Lett 9 124012

USGS, 2016. Landsat 8 (L8) Data User Handbook Version 2. Disponible en: <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf> Acceso en 22. Jun. 2016.