

**ANALISIS MULTITEMPORAL DE AREAS BOSCOSAS
NATURALES A PARTIR DE UN NDVI, Y LA INFLUENCIA
DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL ÁREA LÍMITE
ENTRE COLOMBIA Y ECUADOR**



ANDRES FERNANDO ACUÑA ORTIZ

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al Título de

ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
DICIEMBRE DE 2018**

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE ÁREAS BOSCOSAS NATURALES A PARTIR DE UN NDVI, Y LA INFLUENCIA DE LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL ÁREA LÍMITE ENTRE COLOMBIA Y ECUADOR

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF NATURAL FOREST COVER FROM AN NDVI, AND THE
ANTHROPICAL ACTIVITIES INFLUENCE IN BORDER AREA BETWEEN COLOMBIA AND
ECUADOR

Andrés Fernando Acuña Ortiz

Ingeniero Forestal
Especialización en Geomática
Universidad Militar Nueva Granada
U3101421@unimilitar.edu.co

RESUMEN:

El presente artículo muestra el uso de un índice de vegetación – NDVI, y la implementación de una clasificación supervisada para la separación de áreas boscosas naturales y áreas con coberturas antrópicas en área limítrofe entre Colombia y Ecuador, en área de influencia de la cuenca amazónica. Se utilizaron imágenes del mismo sensor y con iguales características (RapidEye) de los años 2010 y 2017. El área de estudio se compone de una extensión de 25.259,09ha, donde en el periodo más antiguo el 86.21% (21776.79ha) del territorio seleccionado correspondía a áreas boscosas, y para 2017 presentó una disminución a 82.14% (20747.99ha) con un total de 1028.8ha de pérdida de bosque. De forma discriminada, el incremento de la frontera agrícola en el territorio colombiano presentó un valor de 773.58ha (3.06%) y en el territorio ecuatoriano 255.22ha (1.01%).

Palabras clave: NDVI, Coberturas de la tierra, Clasificación supervisada, Bosque natural.

ABSTRACT:

This article shows the use of a vegetation index - NDVI, and the supervised classification implementation for a natural forest classification areas and anthropogenic coverage areas in the border area between Colombia and Ecuador, in the influence area of the Amazon basin. Images of the same sensor with the same characteristics (RapidEye) of the years 2010 and 2017 were used. The study area is composed of an extension of 25,259.09ha, where in the oldest period 86.21% (21776.79ha) of the selected territory corresponded to forested areas; for 2017 it presented a decrease to 82.14% (20,747.99ha) with a total of 1028.8ha of forest loss. In a discriminated way, the increase of the

agricultural frontier in the Colombian territory presented a value of 773.58ha (3.06%) and in the Ecuadorian territory 255.22ha (1.01%).

Key words: NDVI, Land Cover, Supervised classification, Natural Forest.

1. INTRODUCCION

Los cambios en las coberturas boscosas, analizados desde el punto de vista temporal son una importante herramienta para la evaluación y estudio del comportamiento de la dinámica poblacional y su relación con la presión ejercida en ecosistemas naturales.

Las herramientas de teledetección y los sensores multiespectrales correspondientes han permitido desarrollar técnicas de análisis que permiten establecer indicadores, y criterios de evaluación apropiados para estudiar el estado y evolución de las áreas con coberturas boscosas.

El presente artículo pretende abordar un análisis multitemporal en un área de bosque natural entre el amazonas colombiano y ecuatoriano, que se caracteriza por presentar dos condiciones contrastantes; el costado colombiano presenta una fuerte influencia antrópica, basada en la ampliación de la frontera agropecuaria, debido a su cercanía con centros poblados relevantes de la región, y la tala de los bosques para el aprovechamiento del recurso suelo en diferentes tipos de cultivos de porte herbáceo y arbustivo, donde resalta una problemática con cultivos ilícitos; por otra parte, el costado ecuatoriano muestra una conservación de sus bosques en una mayor proporción, sin embargo también presenta algunos patrones de alteración influenciados por el contexto regional.

Por esta razón, se propone el análisis de la vegetación existente entre ambos países,

implementado una técnica de análisis con información multiespectral con el sensor RapiEye, a partir del uso del índice de vegetación de diferencia normalizada – NDVI; de amplia aplicación, el cual permite contrastar la información radiométrica entre los rangos del espectro del InfraRojo cercano y el Rojo, mostrando qué áreas se encuentran con coberturas naturales boscosas, y cuales se

muestran como áreas afectadas por las actividades humanas.

El uso del índice de vegetación NDVI permite evidenciar de mejor manera aquellas zonas con coberturas de cultivos de porte arbustivo, que hacen parte de la problemática mencionada, y de igual manera permite establecer las áreas con bosques aun conservados, los cuales se evidencian de mejor manera al costado ecuatoriano.

2. MATERIALES Y METODOS

A continuación, se relacionan las características del área de estudio, y los insumos y procedimientos implementados para el análisis.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el área limítrofe entre Colombia y Ecuador, al sur del municipio de Puerto Asís (Putumayo) en Colombia y al norte de la región de Sucumbíos en territorio del Ecuador (Figura 1).

Figura 1 Área de estudio inicial



Fuente: GoogleEarth, 2018.

Esta zona se caracteriza por su clima cálido-húmedo, y su composición florística pertenece al encontrado a lo largo de la región amazónica colombiana.

CARACTERISTICAS DEL ENTORNO

El municipio de Puerto Asís se encuentra entre aquellos con mayor incremento poblacional y extensión en sus áreas urbanas en la región, de igual manera presenta el mayor índice de fragmentación de bosques en los últimos años; como referencia, durante el periodo entre 2007 y 2012 el SINCHI reportó un incremento de bosques fragmentados de 53.02km², y una tasa media anual de degradación de Bosques (TMADB) de 10.6Km²/Año. (U, R, J, A, E, & H, 2014). De igual manera, es también uno de los municipios que presenta un mayor incremento en las áreas de praderización en el periodo citado. En contraste, la región de Sucumbíos en Ecuador es evidentemente el otro extremo de la situación, donde se a pesar de la existencia de núcleos poblados cercanos, las áreas boscosas se encuentran en evidente mejor estado que sus homólogas colombianas.

IMAGENES SATELITALES Y PROCESAMIENTO:

Características del sensor:

Para el presente análisis se utilizaron imágenes RapidEye, constelación compuesta por 5 satelitales orbitando a 630Km en una órbita heliosincrónica, que proveen imágenes satelitales multiespectrales de 5m de tamaño de pixel y 5 bandas (RapidEye, 2013), como se observa en la Tabla 1

Tabla 1 Características de captura en longitud de onda por banda

Nombre	Bandas espectrales (nm)
Azul	440 – 510
Verde	520 – 590
Rojo	630 – 685
Red-Edge	690 – 730
NIR	760 – 850

Fuente: (RapidEye, 2013)

Imágenes utilizadas:

Para el presente análisis se utilizaron dos imágenes; una del 4 de enero de 2010 y la segunda del 7 de septiembre de 2017

descargadas a partir de la plataforma Planet (Planet, 2018). Para análisis multitemporales es óptimo tener imágenes de fechas similares, pero la nubosidad de la zona no permitió escoger una temporada particular, por ende se escogieron las dos imágenes que mejores condiciones presentaron con respecto a esta variable con la menor separación de meses.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI

Dada la importancia de los índices para el análisis de cobertura vegetal estos se definen de acuerdo con (Muñoz, 2013), como un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena.

Además, (Muñoz, 2013) afirma que el Índice de Vegetación, puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilbert et al, 1997). Es así como, corresponde a un número generado por alguna combinación de bandas espectrales y se relaciona con la cantidad de la vegetación presente en un área representada por un píxel. Este tipo de índices, son ampliamente utilizados para la clasificación de tierras, coberturas y usos del suelo ya que permiten discriminar de mejor manera las áreas con vegetación y sin ella.

Los valores del NDVI en la vegetación sana muestran un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (NIR), es así como en el rango visible del espectro los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben; en el infrarrojo cercano, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. (Díaz García-Cervigón, 2015).

El cálculo del NDVI se obtiene mediante la aplicación de una sencilla fórmula Ecuación 1, que involucra dos bandas, el Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo, y lo que permite establecer es la relación inversa entre el valor de reflectancia de las dos bandas, siendo posible su uso para discriminar coberturas boscosas.

Ecuación 1 Fórmula NDVI

$$\text{NDVI} = \frac{\varphi_{\text{NIR}} - \varphi_{\text{RED}}}{\varphi_{\text{NIR}} + \varphi_{\text{RED}}}$$

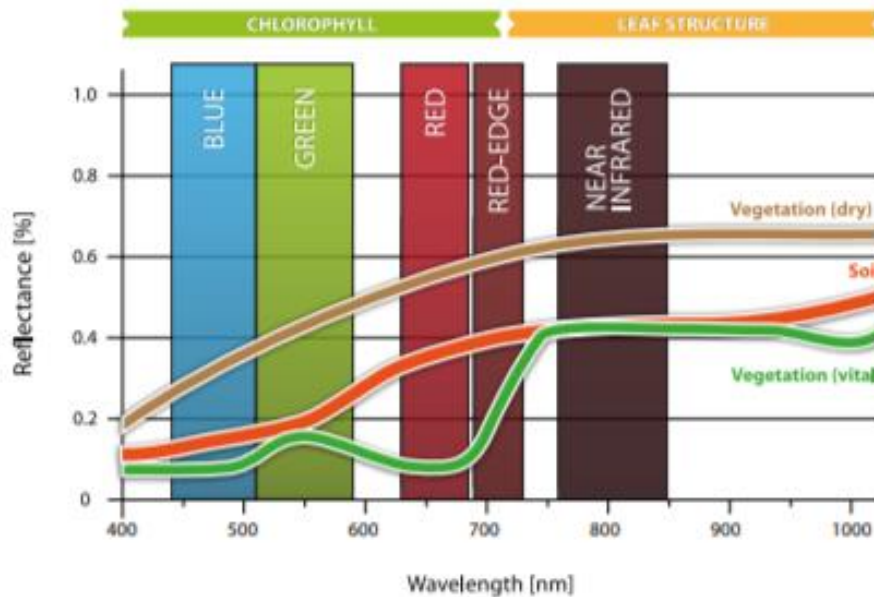
Fuente: (Díaz García-Cervigón, 2015).

El NDVI se puede interpretar como un índice no dimensional, donde sus valores van de -1 a +1. Generalmente, los valores por debajo de 0,1 corresponden a cuerpos de agua y tierras desnudas, y los valores más altos corresponden a áreas con vegetación boscosa y actividades agrícolas. (Meneses-Tovar, 2011).

El NDVI se caracteriza por su sencillez en el cálculo y facilita la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación, e identifica la presencia de vegetación en la superficie y su distribución permitiendo el análisis en un rango de tiempo (Gonzaga, 2014).

Para el presente ejercicio se utilizó la banda 3 (Red) y 5 (Near InfraRed), en el análisis del índice de vegetación, los cuales se encuentran en los rangos de 630-685nm y 760-850nm (Figura 2).

Figura 2 Comportamiento de las bandas del sensor



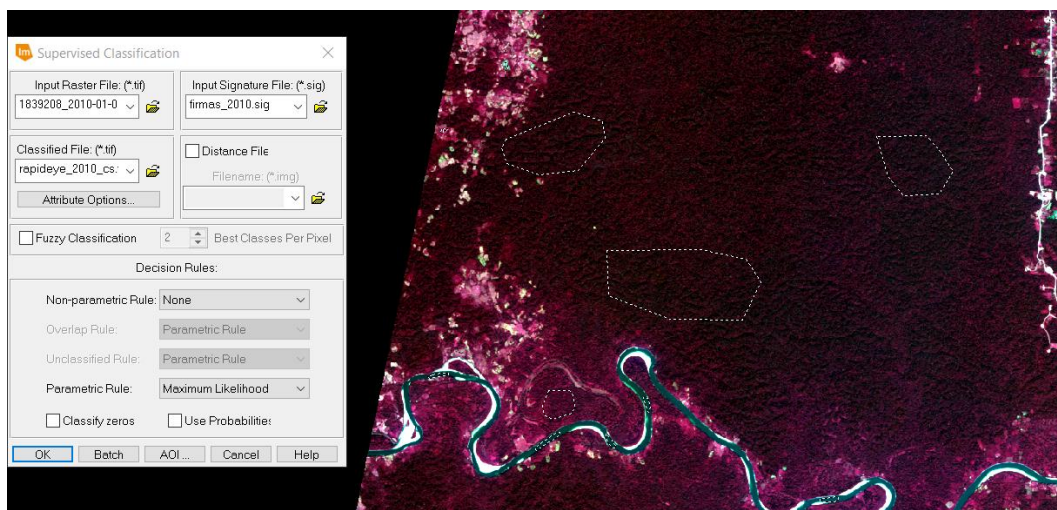
Fuente: Sitio oficial RapidEye, 2018. (Dr. Horst Weichel, 2014)

Es conveniente aclarar que pueden llegar a existir otras coberturas de la tierra que presente reflectancias similares entre el rojo y el infrarrojo, pudiendo generar errores o inconsistencias, pero es una característica de la vegetación tener este patrón de absorción alta en el rojo y reflectancia baja entre más cerca este del infrarrojo cercano (Gonzaga, 2014).

Para la delimitación de las áreas naturales y antrópicas se realizó una clasificación supervisada en las dos imágenes, clasificándolas en tres categorías, Bosque, No bosque y cuerpos de agua. Para ello, se utilizó el programa ERDAS IMAGINE 2016, en donde se obtuvieron un total de 30 firmas espectrales por cada imagen, divididas en 10 por cada categoría establecida, la Figura 3 presenta un grupo de áreas de evaluación.

CLASIFICACION SUPERVISADA DE LAS COBERTURAS:

Figura 3 Polígonos de categorización de coberturas

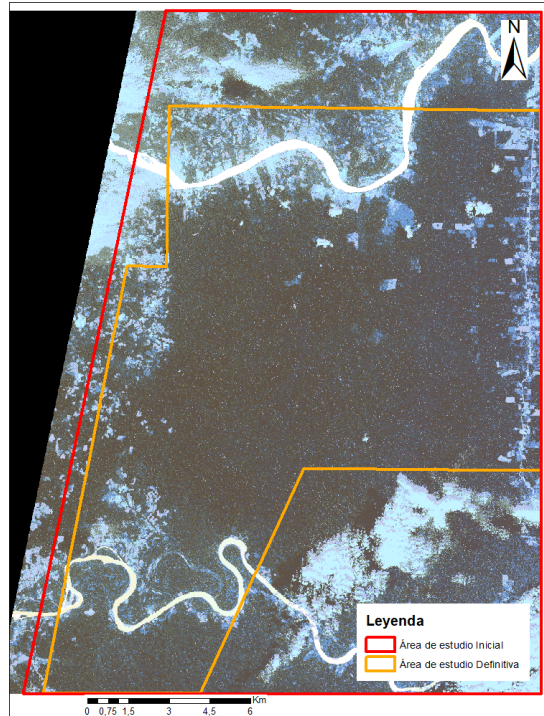


Fuente: estudio 2018.

Una vez categorizada la imagen, se delimitó nuevamente el área de estudio para desestimar un área con nubes en la imagen del año 2017, ya que esta característica no permite hacer la evaluación del análisis multitemporal, de esta

manera, la nueva área de estudio se compone de una extensión de 25.259.09ha como se muestra en la Figura 4.

Figura 4 Área de estudio definitiva



Fuente: Imagen RapidEye 2017 clasificada con presencia de nubes en su esquina inferior derecha y superior izquierda.

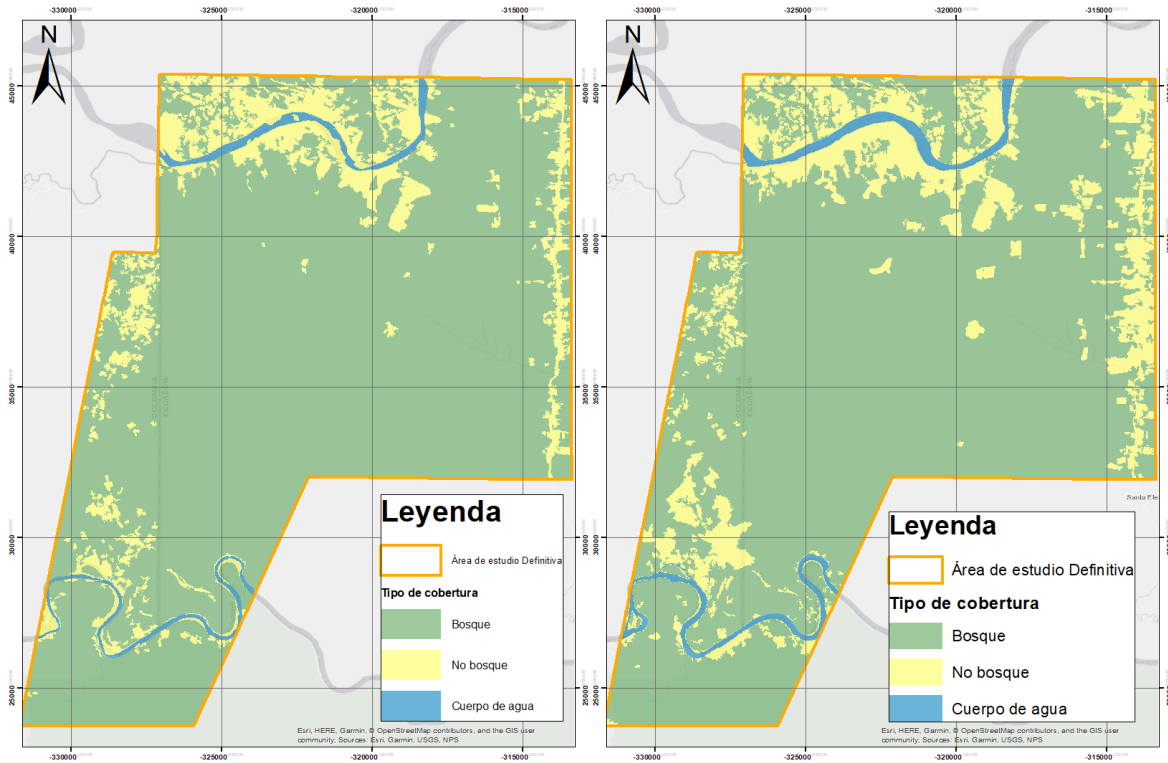
A partir de la delimitación de esta área se procedió a generar la clasificación de ambas imágenes con la herramienta, “*Supervised Classification*” del software anteriormente mencionado, una vez obtenidas las categorías se realizó un proceso de generación de una capa vectorizada de la clasificación raster, y una consecutiva generalización en ArcGis 10.5.1; la cual constó de aplicar la herramienta “*Eliminate*” de forma consecutiva hasta lograr homogeneizar la información usando como estándar un tamaño de polígono mínimo de 1ha. De esta manera fue procesado el resultante formato vector de la clasificación de ambas imágenes, y finalmente cortado por el límite nacional para diferenciar las áreas de los dos países involucrados. Finalmente, a partir

de dicho insumo se pudo calcular las áreas que se presentan en los resultados.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

A partir del análisis de las imágenes de las dos épocas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se puede hacer una comparación de los cambios presentados en el periodo seleccionado, de esta manera se evidencia una disminución de las áreas naturales a partir de la presión antrópica de las actividades agropecuarias en la región, y el resultado presenta el cambio en el periodo establecido, donde la disminución presentada llega a un 4.07% (Figura 5 y Tabla 2).

Figura 5 Comparativo de las coberturas 2010 y 2017



Fuente: Estudio, 2018.

Tabla 2 Comportamiento global de las coberturas

COBERTURA	ÁREA HA PARA 2010	ÁREA HA PARA 2017	DIFERENCIA
Bosque	85,81%	81,18%	4,63%
Cuerpos de agua	1,76%	2,47%	-0,71%
No bosque	12,43%	16,35%	-3,92%

Fuente: Estudio, 2018.

Los cambios presentados en las coberturas (Tabla 2) muestran una ampliación en la frontera agrícola, donde los territorios son deforestados para dar paso a cultivos, en su mayoría de porte arbustivo y de carácter ilícito, y en menor proporción para dar paso a

pastos para ganadería, esta situación puede verse reflejada en los ejemplos puntuales en la Figura 6, delimitados por la línea roja que representa el límite de la cobertura para la temporalidad en 2017.

Figura 6 Ejemplos de ampliación de la frontera agrícola



Fuente: Estudio, imagen RapidEye 2010 (combinación R:3, G:2, B:1)

Así mismo, la calidad de la vegetación se ve disminuida dentro de los parches boscosos, donde se establecen también este tipo de actividades económicas en parches aislados,

donde valores entre 85.81% para el año 2010, varían a 81.18% para 2017 (Tabla 2). Algunos ejemplos de éste tipo de cambios se muestran en la Figura 7.

Figura 7 Comparativo de cambio en la vegetación afectada entre las dos épocas



Fuente: propia

Si analizamos el comportamiento entre fronteras, es evidente la preexistencia de una mayor intervención al costado colombiano, donde de las 5689,17ha dentro del área de estudio, se presenta una disminución de los parches naturales en 138,18ha y el incremento de coberturas antrópicas presenta un aumento de 74,04ha.

En el caso del territorio Ecuatoriano, el total inicial de la masa boscosa era de 17.792,74ha (70,44%), y presentó un decrecimiento del 4,08% correspondiente a un total de 1.031,12ha (Tabla 3). De igual manera el territorio antrópico reciente suma un total de 915,51ha de diferencia a favor entre las dos épocas evaluadas.

Tabla 3 Relación de áreas entre los dos países

PAIS	CLASIFICACION	2010		2017		DIFERENCIA	
		Área ha	% Área ha	Área ha	% Área ha	Área ha	% Área ha
COLOMBIA	BN	3881,67	15,37%	3743,49	14,82%	138,18	0,55%
	CA	118,32	0,47%	182,464	0,72%	-64,14	-0,25%
	NOBN	1689,17	6,69%	1763,21	6,98%	-74,04	-0,29%
ECUADOR	BN	17792,74	70,44%	16761,6	66,36%	1031,12	4,08%
	CA	325,92	1,29%	441,533	1,75%	-115,61	-0,46%
	NOBN	1451,26	5,75%	2366,77	9,37%	-915,51	-3,62%
Total general		25259,09	100,00%	25259,09	100%		

Fuente: propia

4. CONCLUSIONES

La implementación de un índice de vegetación ha servido para establecer la localización de las zonas con diferencias en el porte y estado de la vegetación, identificando claramente los lugares donde existen cambios en la cobertura, o presentan una disminución parcial, significativa o total.

De igual manera, se observa que los patrones más característicos en la imagen son identificados por la clasificación supervisada, sin embargo existen algunas mezclas de coberturas vegetales que necesitan de una depuración mayor para separar claramente áreas afectadas o antrópicas, de los bosques naturales.

Se evidenció que muchas de las zonas con presencia de plantaciones de porte arbustivo se encontraban en extensiones de poco tamaño, que en el momento de generalizar la

información al área mínima aceptada para la escala de trabajo, fueron desestimadas. Estas áreas corresponden en su mayoría a la presencia de cultivos ilícitos en la región, donde en la margen norte del río, ha sido una constante histórica en el territorio correspondiente al municipio de Puerto Asís. Como análisis a futuro podrá compararse los resultados de las medidas adoptadas por el gobierno nacional en colaboración con UNODC quienes el 26 de marzo de 2018 firmaron un acuerdo con la comunidad de la región para la sustitución de estos cultivos en aproximadamente 7 mil hectáreas de hoja de coca (posconflicto, 2018).

Hacia el margen sur del río, se presenta un incremento de las áreas afectadas entre las dos épocas analizadas, es evidente el cambio debido a que dicha área en contraste con el margen norte, no presentaba una intervención de la cobertura natural tan marcada como en el margen colombiano.

De acuerdo a la respuesta espectral, se evidencia que los cultivos en un avanzado estado de crecimiento, presentan una respuesta

similar a estados sucesionales avanzados dentro del bosque, correspondiente a vegetación secundaria.

Bibliografía

- Díaz García-Cervigón, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Madrid.
- Dr. Horst Weichelt, D. P. (2014). *The RapidEye Red Edge Band - WHITE PAPER*. Recuperado el 27 de 11 de 2018, de http://www.geosoluciones.cl/documentos/rapideye/RE_Red_Edge_Band_White_Paper.pdf
- Gonzaga, C. (2014). *Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador*. La Plata.
- Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva*, 39-46.
- Muñoz, P. (2013). *bibliotecadigital*. Recuperado el 25 de 11 de 2018, de <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indice%20de%20vegetaci%C3%B3n%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Planet. (10 de 11 de 2018). *Planet*. Recuperado el 10 de 11 de 2018, de <https://www.planet.com/explorer>
- posconflicto, A. c. (26 de 03 de 2018). <http://www.posconflicto.gov.co>. Recuperado el 14 de 12 de 2018, de <http://www.posconflicto.gov.co/sala-prensa/noticias/2018/Paginas/20180326-putumayo-la-nueva-gran-apuesta-en-sustitucion-de-cultivos-ilicitos.aspx>
- RapidEye. (2013). *www.geosoluciones.cl*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2018, de http://www.geosoluciones.cl/documentos/rapideye/RapidEye_Mosaic_Product_Specifications_ES.pdf
- U, M., R, M., J, R., A, H., E, H., & H, C. (2014). *Cambio de uso de suelo: Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia Colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales 2002 al 2012, con énfasis en el periodo 2007-2012*. Bogota.