



## Cuantificación de la deforestación de coberturas boscosas a partir del análisis de vegetación fotosintética y modelos automcu. Caso de estudio Orinoquía de Colombia

### Quantification of Deforestation Forest Coverage as of Analysis of Photosynthetic Vegetation and Automcu Models. Case Study of Colombia Orinoquía Region

J. Leonardo Hurtado A.<sup>1</sup>

**Para citar este artículo:** Hurtado, J. (2016). T0 Cuantificación de la deforestación de coberturas boscosas a partir del análisis de vegetación fotosintética y modelos automcu. Caso de estudio Orinoquía de Colombia. *Revista de Topografía Azimut*, (7), 15-21.

**Recibido:** 12-agosto-2016 / **Aceptado:** 20-octubre-2016

#### Resumen

En los últimos años, los efectos del calentamiento global se han hecho cada vez más latentes dentro de nuestro delicado sistema ambiental; sin embargo, pese a todos los esfuerzos y acuerdos internacionales, algunos fenómenos como la perturbación y la deforestación no han podido ser erradicados de nuestros bosques y ponen en riesgo la coexistencia ambiental. Este artículo busca evaluar y cuantificar para los departamentos Guaviare y Meta la tasa de deforestación que se ha producido entre 2010-2015 a partir de imágenes Landsat. Se realiza el procesamiento de las imágenes de satélite sobre datos de reflectancia y, a partir de ellas, se producen por separado mapas temáticos de cobertura fraccional con base en algoritmos de Montecarlo que permiten generar la clasificación de la cobertura boscosa para cada año y finalmente visualizar las áreas deforestadas en este periodo de tiempo. El resultado del mapa multitemporal permite tener una visión de este fenómeno en una de las zonas con mayor vulnerabilidad de Colombia.

**Palabras clave:** cobertura boscosa, cobertura fraccional, deforestación, Montecarlo, teledetección.

#### Abstract

In recent years the effects of global warming have become ever more latent within our delicate environmental system. However, despite all efforts and international agreements some phenomena as disturbance and deforestation have not been eradicated from our forests and put at risk the environmental coexistence. This article aims to evaluate and quantify for the departments of Guaviare and Meta the rate of deforestation that has occurred between 2010-2015 as from Landsat images. The satellite images are processed with reflectance data and from them are produced separately the thematic maps of fractional coverage using algorithms Montecarlo that allow to generate the classification of forest cover for each year and finally display the deforested areas in this period of time. The result of multitemporal map allows a view of this phenomenon in one of the most vulnerable areas of Colombia.

**Keywords:** deforestation, forest cover, fractional coverage, Montecarlo, remote sensing.

<sup>1</sup> Ing. Catastral y Geodesta; voluntario GRSS – IEEE, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: leohurtado\_93@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones de la teledetección ambiental es la generación y análisis de la cartografía temática enfocada a la degradación de los bosques a nivel mundial, esto como una urgente medida de control de las emisiones de carbono en nuestra atmósfera. Los bosques cumplen una función importante en la regulación del clima global gracias a que almacenan una mayor cantidad de carbono que cualquier otro bioma terrestre (Houghton, 2005), por ello, las emisiones de carbono en zonas de alta actividad de deforestación comprometen la calidad del medio ambiente, es por esto que su constante monitoreo es vital para la toma de decisiones.

Para el caso de Colombia, es primordial el control de la biomasa vegetal teniendo en cuenta que es un país con una rica variedad de especies autóctonas que alimentan uno de los pulmones del mundo como es el caso del Amazonas (frontera con Brasil), esta zona, al igual que la Orinoquia, son blanco de un daño ecológico considerable. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) durante las Conferencias de las Partes de 2009 y 2010, decidió que los países en desarrollo deben establecer sistemas nacionales de monitoreo forestal que permitan cuantificar las emisiones/absorciones de gases de efecto invernadero (GEI) y los cambios en la superficie de los bosques y las reservas forestales de Carbono (Galindo, 2014).

Con el actual desarrollo de los sistemas de captura a distancia de información geoespacial y el software de procesamiento de estos datos, se han logrado grandes avances en el control y monitoreo de las coberturas de la tierra. Algunas entidades del estado colombiano (Cabrera *et al.*, IDEAM, 2011) han realizado estudios de deforestación empleando imágenes de satélite y técnicas específicas de algunos programas de procesamiento como Classlite, un software desarrollado por el instituto Carnegie para la ciencia (Team, 2013) ideal para el monitoreo de bosques.

El objetivo del presente artículo es evaluar y cuantificar, por medio de imágenes de satélite, el impacto de la deforestación y la perturbación dentro de la homogeneidad de los bosques en el departamento del Guaviare y parte del departamento del Meta (Orinoquia). Para ello, se parte de un par de escenas de Landsat cinco y ocho correspondientes al año 2010 y 2015 respectivamente y se generan por separado mapas de cobertura fotosintética fraccional con el fin de superponer temporalmente y obtener las zonas que fueron afectadas por los fenómenos ya mencionados.

El proceso de selección de la zona de estudio se realizó con base a las estadísticas entregadas por el IDEAM, en las cuales el departamento del Meta y Guaviare aportaron cerca del 15% de la deforestación total en el país para el año 2015, dato muy relevante para analizar el cambio en los bosques y el impacto del daño ecológico visual y cuantitativamente para un periodo de cinco años.

Con el objeto de garantizar un desarrollo claro y conciso, este artículo estará organizado de la siguiente manera: en el apartado Datos y métodos, se detallan los procedimientos de los algoritmos implementados en el software Classlite; en la metodología, se analizan los umbrales de enmascaramiento y clasificación de coberturas fotosintéticas para cada una de las imágenes insumo; en los resultados se visualizan los mapas de bosque, no bosque resultantes y, finalmente, el mapa de deforestación periodo 2010-2015; y, finalmente, se realizan las conclusiones.

## DATOS Y MÉTODOS

### Zona de estudio

La zona de estudio (Figura 1) comprende una importante parte del departamento del Meta, el departamento de Guaviare y una pequeña parte del departamento de Vichada. Es una región con variaciones de vegetación entre especies invasoras

y especies autóctonas que son el enlace con los bosques de la Amazonia, estas hectáreas de bosques son las que se están viendo afectadas por la deforestación.



**Figura 1.** Zona de estudio. Región de la Orinoquia. Departamentos del Meta y Guaviare

La Orinoquia, en términos de paisaje, es una región caracterizada por ser planicie donde predominan las actividades ganaderas, tiene clima cálido y se encuentran en ella los departamentos Meta, Guaviare, entre otros. En la actualidad, es una zona muy atractiva para empresas externas (Semana, 2014) que buscan realizar actividades petroleras afectando el ecosistema propio de la región.

### Insumos

Para generar los mapas de cambio en la estructura de los bosques en la zona de estudio, se requirió la selección y descarga de dos imágenes Landsat

por medio del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS); la primera correspondiente a una imagen Landsat 5 del 24 de Enero de 2010 y la segunda correspondiente a Landsat 8 del 4 de febrero de 2015. Estas imágenes corresponden al path 006 y row 058 y fueron seleccionadas bajo el criterio de mínimo porcentaje de nubosidad en la totalidad de la imagen.

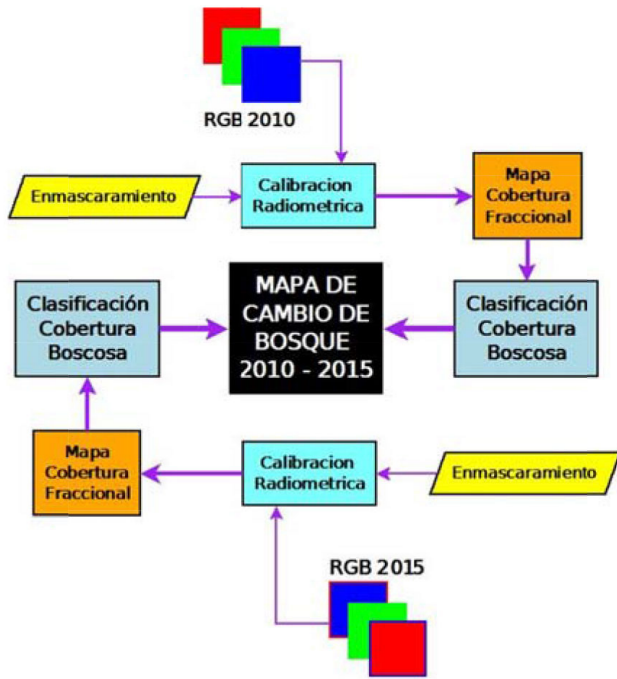
### AutoMCU

El método AutoMCU, o Segregación Espectral Automatizada Monte Carlo (Automated Monte Carlo Unmixing), ofrece un análisis cuantitativo de la cobertura fraccional o porcentual (0-100%) de la vegetación viva y muerta y el sustrato expuesto dentro de cada píxel satelital (Asner, 2009).

La vegetación viva se denomina técnicamente vegetación fotosintética (VF), la cual mantiene propiedades espectrales únicas asociadas con los pigmentos fotosintéticos de la hoja, contenido de agua del dosel y la cantidad de follaje en el dosel. La fracción de vegetación muerta se denomina vegetación no fotosintética (VNF), que se expresa en el espectro como material de superficie brillante con características espectrales asociadas con compuestos secos de carbono en hojas muertas y madera expuesta. Finalmente, el sustrato expuesto está, por lo general, dominado por suelos minerales expuestos (S), pero también pueden ser rocas o infraestructura de origen antropogénicas, por ejemplo, ladrillos (Team, 2013).

### METODOLOGÍA

Un par de escenas completas de Landsat, con una resolución espacial de 30 metros, se procesan por separado con el fin de obtener mapas de coberturas fraccional y posteriormente obtener el mapa de cambio de bosques. En el Grafico 1 se puede apreciar la secuencia de pasos para la obtención del mapa de áreas de cambio.



**Gráfico 1.** Esquema metodológico

El procesamiento de cada imagen se realiza de forma independiente y solo en el cruce temporal para generar el mapa de cambios se empleará en ambas imágenes. El proceso consta principalmente de cuatro partes (calibración radiométrica, enmascaramiento, autoMCU para cobertura fraccional y clasificación de la cobertura boscosa).

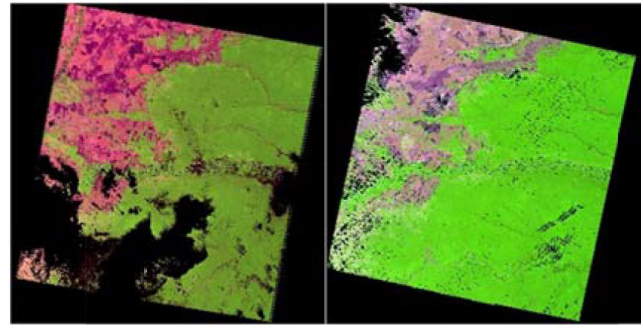
### Calibración radiométrica

Para poder usar una imagen cuantitativamente, los datos registrados en cada píxel deben calibrarse con unidades de números digitales o de conteo a unidades de energía reflejada. Para ello, se emplean los datos propios del satélite de captura como la ganancia y compensación por banda (Team, 2013). Un segundo paso consiste en la corrección atmosférica teniendo en cuenta la información terrestre y atmosférica en el momento de la captura. Este proceso minimiza el efecto de vapor de agua, aerosoles y otros factores que dispersan la irradiancia.

### Enmascaramiento

Un proceso alternativo en Classlite pero muy recomendable es realizar el enmascaramiento de nubes, sombras y cuerpos de agua. Este proceso se realiza en la calibración y en la cobertura fraccional donde se extraen los errores basados en el cálculo del RMSE. Fmask realiza el proceso de enmascaramiento, Classlite tiene tres opciones diferentes de enmascaramiento y se recomienda emplear los tres para reducir los errores en la clasificación de la vegetación fotosintética.

En la Figura 2 se observa el resultado obtenido posterior a la calibración radiométrica y el proceso de enmascaramiento para cada una de las imágenes.



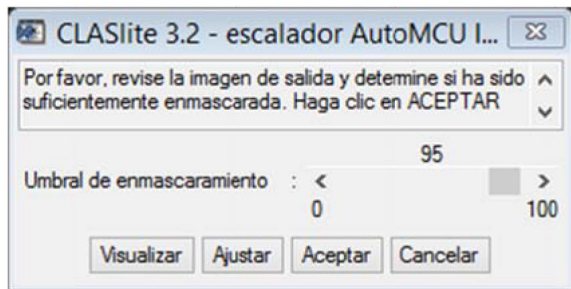
**Figura 2.** Calibración radiométrica y enmascaramiento. Izquierda Landsat 5. Derecha Landsat 8

### AutoMCU para cobertura fraccional

Cada una de las coberturas de la tierra responde a una firma espectral única y que permite identificarla sobre otras coberturas (Di Bella, 2008). A partir de esta firma espectral, Classlite cuenta con un banco de firmas que permite rastrear la curva espectral píxel a píxel y fraccionarla por coberturas (VF, VNF y S). El método AutoMCU o Segregación Espectral Automatizada de Monte Carlo (Asner, 2008) ofrece un análisis cuantitativo de la cobertura fraccional entre 0 y 100% desde la

vegetación viva, muerta y el sustrato o suelo expuesto (Team, 2013).

La biblioteca espectral está diseñada para paisajes tropicales; sin embargo, es funcional para coberturas boscosas independientemente de su localización geográfica pero es necesario ajustar los umbrales de clasificación de acuerdo a las condiciones físicas del paisaje capturado. En la Figura 3 se observan los ajustes de umbrales aplicados para la VF; teniendo en cuenta la localización del piedemonte llanero y la variabilidad de especies invasoras y autóctonas en los bosques, se realiza un ajuste en el umbral al 95% con el fin de minimizar errores de comisión en el mapa de cobertura fraccional.



**Figura 3.** Ajuste de umbrales de clasificación de vegetación fotosintética

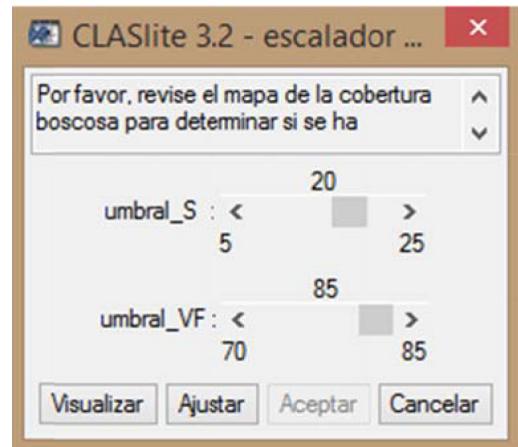
### Clasificación de la cobertura boscosa

A partir de los mapas de cobertura fraccional se realiza una clasificación de área con bosque y área sin bosque. Estas áreas resultantes tienden a indicar zonas en las cuales se presentan actividades de tala y perturbación, así como la vegetación natural no boscosa, verbigracia, pastizales. El árbol de decisión en los umbrales empleando AutoMCU aplican las siguientes formulas:

**Bosque:**  $PV \geq 80$  y  $S < 20$

**Área no boscosa:**  $PV < 80$  y  $S > 20$

Como anteriormente se había mencionado la variabilidad de los bosques tropicales con los bosques del piedemonte llanero se ajustan los umbrales de clasificación, estos umbrales se pueden visualizar en la Figura 4.



**Figura 4.** Ajuste de umbrales. Mapa de cobertura boscosa

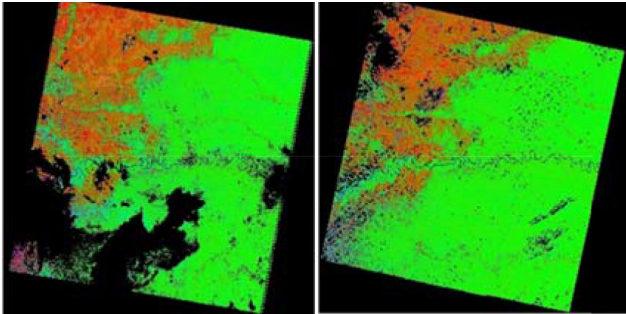
### RESULTADOS

Classlite incluye la capacidad totalmente automatizada para detectar el cambio del bosque entre una serie temporal de imágenes tomadas en la misma área geográfica en un período de tiempo; este proceso minimiza considerablemente el proceso manual de la clasificación supervisada en la cual se pueden acumular más fácilmente errores de muestreo realizados por el intérprete. El análisis multiimagen es el enfoque más preciso para la detección de la pérdida de bosque (deforestación), ganancia (crecimiento secundario) o degradación (áreas con perturbaciones boscosas persistentes).

De acuerdo a los parámetros y el árbol de decisión asignado para imágenes Landsat (Team, 2013), se obtienen pixeles de diferencia resultantes de superponer las imágenes del 2010 y 2015 respectivamente, cuantificando las áreas de perturbación y deforestación. Estos pixeles resultado pasan a un

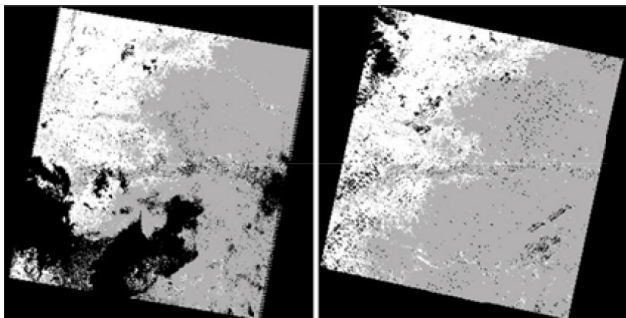
proceso de filtro para eliminar zonas de ruido y controlar el tamaño de las áreas de cambio de acuerdo al protocolo del IDEAM (Cabrera, 2011) y su relación con la resolución espacial de las imágenes.

La salida de los primeros mapas son los de cobertura fraccional que comprende siete bandas: la banda uno corresponde al sustrato expuesto (S), banda dos a la vegetación fotosintética (VF), banda tres vegetación no fotosintética (VNF), las bandas cuatro, cinco y seis a las incertidumbres de las bandas uno, dos y tres y la banda siete al error total. En la Figura 5 se observa una composición de bandas RGB tres, dos, uno.



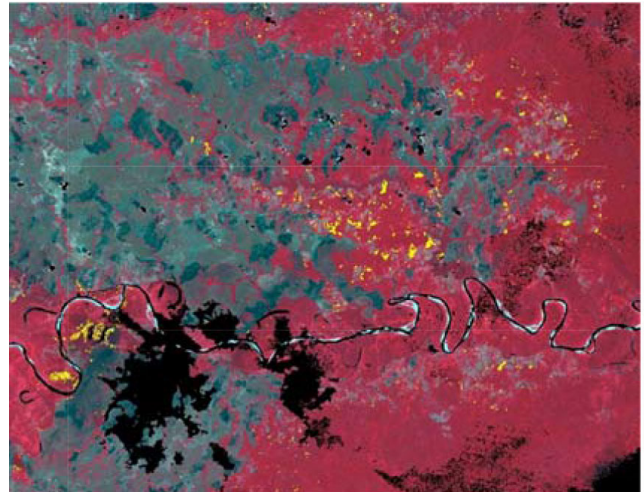
**Figura 5.** Mapas de cobertura fraccional. Izquierda 2010. Derecha 2015. Composición RGB (VNF, VF, S)

A partir de los mapas de cobertura fraccional se generan los mapas de bosque/ no bosque. El resultado de dichos mapas se puede visualizar en la Figura 6, donde negro son las zonas de enmascaramiento, gris el bosque y blanco las zonas de no bosque.



**Figura 6.** Mapa de cobertura boscosa. Izquierda 2010. Derecha 2015

Por último, se genera el mapa de cambio del bosque comprendido entre el 2010 y el 2015. En la Figura 7 se observa el mapa de deforestación ocurrido para el periodo 2010-2015 con tonalidades amarillas enfocadas en aquella zona de la zona de estudio que presentó mayores cambios y presencia de una autocorrelación espacial.



**Figura 7.** Mapa de deforestación 2010-2015. Imagen base Landsat 2010 RGB (432)

Como resultado final de la cuantificación se tiene un área de deforestación estimada en 10576 ha de bosque natural, lo que equivale a un 0.23% del total de la imagen, teniendo en cuenta que una imagen de satélite tiene un área aproximada es de 4755109.59 ha.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es importante resaltar cómo las zonas de mayor afectación son aquellas próximas a las rondas hídricas y una importante zona al sur del Guaviare límite con la región Amazónica y sectores aledaños con el departamento del Caquetá, el cual, según las últimas estadísticas, es la zona que reporta un mayor índice de deforestación; esto a su vez permite identificar un fenómeno de asociación espacial.

El departamento del Guaviare ha sido uno de los más afectados por la intervención humana dentro

de la homogeneidad del paisaje boscoso, una zona del país donde se unen la Orinoquia con la Amazonía lo que permite ver como es una zona con grandes contrastes de vegetación. Obtener como resultado más de 10000 ha de bosque desaparecido nos muestra la magnitud de la tragedia ecológica que día a día se incrementa y que poco se da a conocer generando un daño ecológico irreparable. Tener un 0.22% del territorio analizado en estado de deforestación parece no ser alarmante, pero es vital ver la extensión de la superficie analizada y el corto periodo de tiempo en que estos cambios se produjeron.

La actividad maderera y la explotación de hidrocarburos en esta región del país tal y como se conoce en los medios de comunicación está quebrantando la estabilidad ambiental de esta zona del país, especies autóctonas de la región están desapareciendo a un ritmo muy acelerado.

## CONCLUSIONES

El estudio permite observar cómo un país con una gran riqueza natural como Colombia está atravesando por una grave crisis ambiental; las tasas de deforestación cada vez son más grandes, esto, sumado a los efectos del calentamiento global, permiten concluir la urgente necesidad de hacer respetar y cumplir la legislación ambiental.

Los resultados en términos cuantitativos no son del todo exactos debido a las zonas enmascaradas por efectos de sombras y nubes, por criterios del protocolo se recomienda prescindir de estas zonas sin información antes que realizar cálculos basados en hipótesis. Classlite es una poderosa y útil herramienta para el estudio y monitoreo de los bosques a nivel mundial. Sin embargo, es vital realizar los ajustes necesarios de acuerdo a las condiciones nativas del paisaje con el fin de obtener productos de mayor precisión.

## REFERENCIAS

- Asner, G. (2008). Hyperspectral remote sensing of canopy chemistry, physiology and diversity in tropical rainforests. In M. Kalacska y A. Sanchez-Azofeifa Hardback (Eds.). *Hyperspectral remote sensing of tropical and subtropical forests* (pp. 261-296). CRC Press, Boca Ratón.
- Asner, G. (2009). Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing*, 3.
- Cabrera E. (2011). Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, Nivel subnacional escala gruesa y fina. Bogotá, D.C.: IDEAM.
- Di Bella, C. M. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Revista Ecosistemas*, 17(3).
- Galindo, e. (2014). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia* (Vol. 2). Bogotá, D.C.: IDEAM.
- Houghton, R. a. (2005). Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology*, 11 ed., Vol. 6.
- IDEAM. (2015). Aumenta deforestación en Colombia. Recuperado de [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/aumenta-deforestacion-en-colombia-para-2014](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/aumenta-deforestacion-en-colombia-para-2014)
- Semana, R. (2014). ¿Qué tan responsables son las petroleras de la tragedia ambiental? Recuperado de <http://www.semana.com/nacion/articulo/sequia-en-casanare-el-papel-de-las-petroleras/381584-3>
- Team, I. (2013). CLASlite Forest Monitoring Technology: Version 3.1 User Guide. Stanford, USA. Recuperado de <http://claslite.carnegiescience.edu>