

**EVALUACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN EN LAS SABANAS DEL YARÍ A PARTIR  
DE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT  
AÑOS 2010 Y 2017 POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.**

**Autor: MANUEL CAMILO REYES GONZALEZ**

**Tutor: FELIPE ALFREDO RIAÑO PÉREZ**

**Programa:**

**ESPECIALIZACIÓN EN GOMÁTICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**BOGOTÁ**

**2017**

**EVALUACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN EN LAS SABANAS DEL YARÍ A PARTIR DE UN ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE LANDSAT AÑOS 2010 Y 2017 POR MEDIO DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.**

EVALUATION OF DEFORESTATION IN THE YARÍ SABANAS FROM A MULTITEMPORAL ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES LANDSAT YEARS 2010 AND 2017 THROUGH DIGITAL IMAGE PROCESSING.

*Manuel Camilo Reyes González*

Especialización en Gomática, Universidad Militar Nueva Granada.

Correspondencia: cmreyesg1@gmail.com

**RESUMEN**

El propósito de la presente investigación es realizar un análisis multitemporal utilizando imágenes de satélite Landsat de los años 2010 y 2017, para determinar el cambio de cobertura de bosque en las sabanas del Yarí, debido a la deforestación que se ha presentando en la zona en los últimos años.

Para realizar el estudio, se procesaron las dos imágenes por separado, inicialmente se realizó una clasificación temática y una evaluación de la exactitud con el propósito de observar cuales eran las coberturas predominantes en la zona de estudio, posteriormente se realizó un correregistro a las imágenes (resamplero) con el fin de que pudieran ser comparables espacialmente, y con ello estimar los cambios ocurridos de un año a otro con respecto a las coberturas presentes.

**Palabras claves:** Análisis Multitemporal, Clasificación Temática, Cobertura, Resamplero

## **ABSTRACT**

The purpose of the present investigation is to carry out a multitemporal analysis using Landsat satellite images of 2010 and 2017, to determine the change of forest cover in the Yará savannas, due to the deforestation that has been occurring in the area.

In order to carry out the study, the two images were processed separately, initially a thematic classification and an evaluation of the accuracy were carried out with the purpose of observing the predominant coverage in the study area, then a correlation was performed to the images (Resample) so that they could be spatially comparable, and thus estimate the changes that occurred from year to year with respect to the present coverage.

**Key words;** Multitemporal Analysis, Thematic Classification, Coverage, Resample

## **INTRODUCCIÓN**

Una sábana es un ecosistema natural que se ubica en climas tropicales y se caracteriza por tener arboles pequeños y separados. La sabana del Yará esta ubicada al sur de la Sierra de la Macarena, entre los departamentos del Meta y Caquetá, también es conocida como el núcleo de las sabanas que conforman la amazonia colombiana. Hoy en día es habitada por dos comunidades indígenas, Tinigua y Carijona además de los municipios de Florencia y Puerto Rico.

Estas comunidades indígenas, años atrás se mantenían aisladas, solo había acceso por el rio Guayabero, pero debido a la vegetación que se presenta en esta zona que es rala y fácilmente quemable, ha sido aprovechada por los habitantes de la zona para destruirla, hoy en día hay lugares donde es más fácil acceder en carro.

Un informe presentado en el segundo semestre del año 2015 por el Sistema de Monitoreo de Bosques del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, refleja la fuerte deforestación que se está presentando en la zona debido a la ampliación de los terrenos agrícolas, así como la ganadería y los cultivos ilícitos. De acuerdo al informe, mediante un sistema de alertas tempranas, se detectan los cambios en la cobertura de bosque, que para el caso de las sabanas del Yará, esta representa el 13% del total de alertas tempranas reportadas por el

IDEAM a nivel nacional. (IDEAM, Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC), 2015)

Gracias a las múltiples técnicas de teledetección es posible detectar fenómenos de tipo geográfico; En la actualidad, un análisis multitemporal permite ver los cambios ocurridos de una época a otra y constituyen una herramienta muy útil para el estudio de variables en el tiempo y pueden ser utilizadas también para predicciones futuras, se pueden modelar las variables de estudio.

Por lo anterior, realizar un análisis multitemporal de los cambios presentados en la zona, utilizando dos imágenes Landsat del año 2010 y 2017 y compararlas por medio del procesamiento digital de las imágenes utilizando el software PCI Geomatica, permite identificar y cuantificar los cambios que se han presentado en la cobertura vegetal de la zona como consecuencia de la deforestación y así observar el deterioro causado en las Sabanas del Yará.

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Las sábanas del Yará son un subsistema de sabanas antrópicas, ubicadas al sur de la Sierra de la Macarena, en la zona limítrofe de los departamentos de Caquetá y Meta, originariamente habitadas por los pueblos indígenas Tinigua y Carijona. son un ecosistema que no se encuentra

representado en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, SINAP; están conformadas por áreas con arbustales entre 1,5 y 4 metros de altura; matorrales inferiores a 1,5 metros; y sabanas abiertas conformadas por vegetación herbácea y exposición de suelos arenosos. También son parte de la Sabanas del Yari, pequeñas “matas de monte”, humedales y bosques de galería que hacen mayor la diversidad florística y sirven de hábitat de venados, chigüiros y boas. (Instituto SINCHI. BIODIVERSIDAD Y CONFLICTO ARMADO EN LAS SABANAS DEL YARÍ. Año 2014)

Yarí ha sido para los grupos al margen de la ley, una región de gran importancia estratégica, puesto que son corredor de seguridad de varios Bloque de las Farc, que comunica la hoya del río Duda con el río Apaporis, que bota sus aguas al río Caquetá y ambos, al Amazonas. Si se trazara una línea imaginaria entre Bogotá y Leticia, el Yarí quedaría en el centro.

La tala masiva ha coincidido con la salida de las Farc de esta región hacia las zonas veredales, situación que ya en 2014 el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) había advertido sobre el riesgo de que actores ilegales ocuparan los territorios que la guerrilla abandonara. Según los líderes sociales, la guerrilla controlaba la tala, según unas cuotas establecidas, se manejaba el tema de cuidar 20 por ciento de todas las fincas y tenerlas en reserva en montañas, y si una persona tumbaba ese 20 por ciento, era sancionada, hoy en día, ya no existe ese control (2017, Periódico Pacifista. Así acaban con la selva en la Amazonía tras la salida de las Farc).

## 1.2 METODOLOGÍA

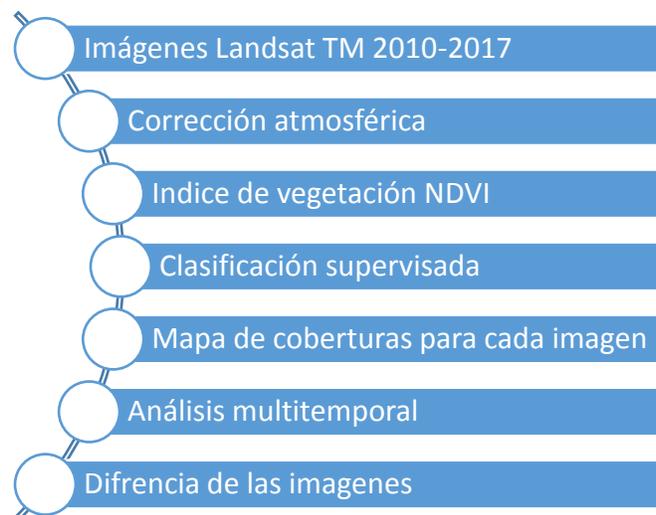


Grafico 1. Metodología del proyecto. Elaboración propia.

Para el análisis se utilizaron imágenes de satelitales del sensor ETM+ Landsat 7 y del sensor ETM+ Landsat 8, tomadas en la fecha del 5 de mayo de 2010 y 11 de marzo de 2017 respectivamente. Luego se realizó una corrección atmosférica o resamplero y se aplicaron filtros, con el fin de mejorar las imágenes en el software PCI GEOMATIC y así poder hacer una combinación de bandas y aplicación de índices, que permitan mejorar la interpretación visual.

Antes de la clasificación utilizaremos unos indicadores que destacan algunas características del suelo y con ello evitar algunos problemas de correlación que se presentan en las imágenes, para el procesamiento utilizaremos el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI).

Una vez establecida la calidad de la información de las imágenes, se realiza la clasificación supervisada, la cual parte de un conocimiento previo del terreno de donde se seleccionan las muestras para cada una de las diferentes coberturas.

Por último, se combinan los datos finales de la clasificación de coberturas de la imagen del año 2010 con la imagen del año 2017, se identifican los cambios presentados entre las dos épocas y se obtiene como resultado final un mapa de cambios de coberturas.

### **1.3 RECURSOS UTILIZADOS**

- **CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES UTILIZADAS**

Para el presente informe se utilizó una imagen del sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), la cual está compuesta por 8 bandas espectrales. Su operación es administrada por la NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey). Una imagen LANDSAT 7 ETM , entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m.

También se utilizó una imagen del satélite Landsat 8, el cual fue lanzado el 11 de febrero de 2013, es un satélite óptico de resolución media más completo respecto a su antecesor, con sus

funciones mejoradas para monitorear la calidad del agua y nubes atmosféricas altas. Este satélite contiene dos sensores: un Sensor Operacional de Imágenes de Tierra (OLI) y un Sensor Infrarrojo Térmico (TIRS). (United States Geological Survey USGS)

OLI está formado por 9 bandas espectrales que van desde lo visible pasando por los infrarrojos hasta el espectro de radiación de bajas ondas. Con las imágenes de resolución espacial, que oscilan entre los 15m y los 30m.

TIRS está compuesto por dos bandas espectrales, las cuales detectan infrarrojos térmicos, una herramienta importante para medir la temperatura de la superficie de la Tierra.

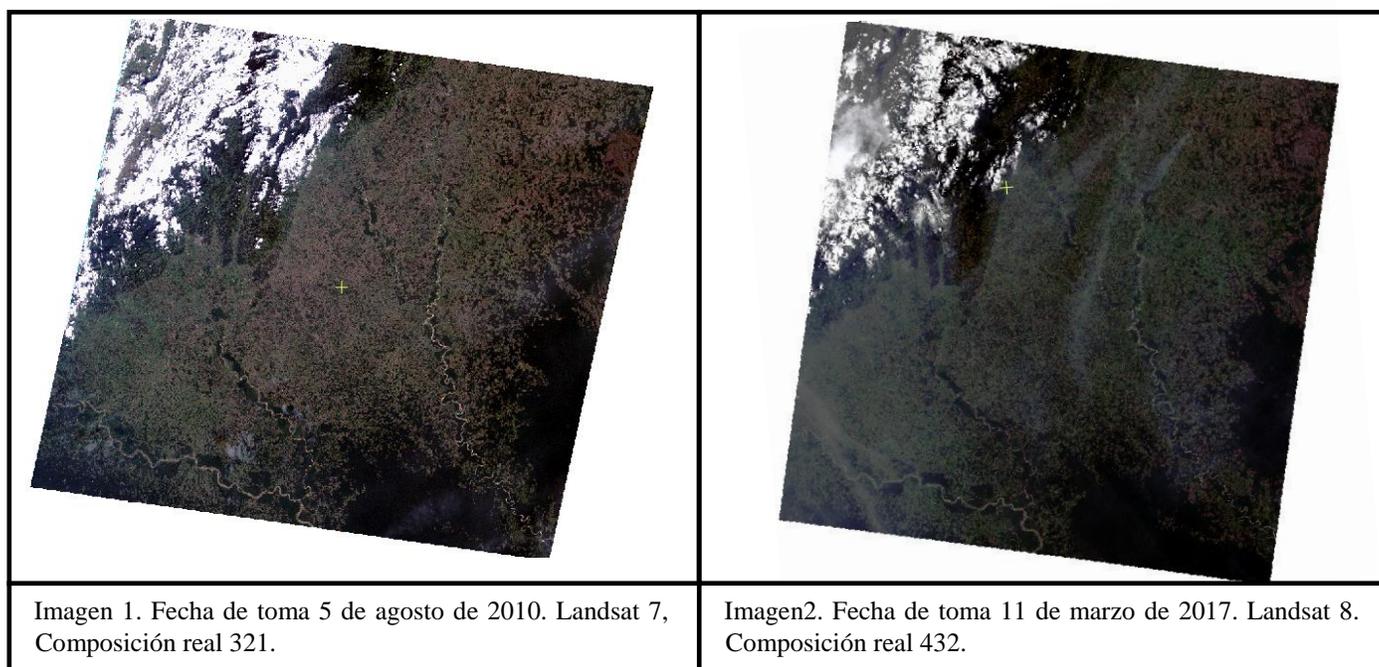


Imagen 1. Fecha de toma 5 de agosto de 2010. Landsat 7, Composición real 321.

Imagen 2. Fecha de toma 11 de marzo de 2017. Landsat 8. Composición real 432.

Satélite	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Fecha de lanzamiento	15 de abril de 1999	21 mayo del 2016
Sensor	ETM+	OLI_TIRS Óptico
Resolución Espacial	30 m	30 m
Resolución Espectral	8 Bandas	11 Bandas
Resolución Radiométrica	8 Bits	8 Bits
Nivel de Procesamiento	1T	1T
DATUM	WGS84	WGS84
Fecha de toma	5 de mayo de 2010	11 de marzo de 20017

Tabla 1. Características de los Satélites Landsat 7 y Landsat 8. Fuente SURVEY. 2016.

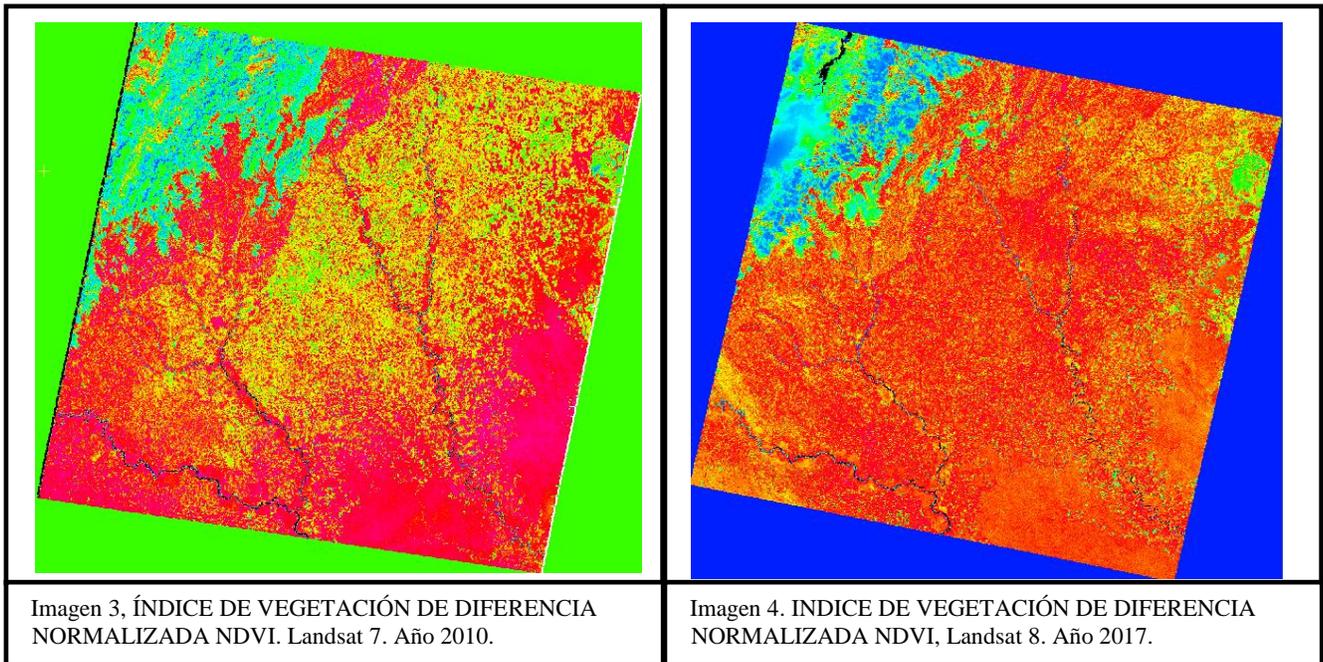
- **ÍNDICIE UTILIZADO**

Adicionalmente a las imágenes utilizadas para el procesamiento se calculó un indicador que destaca algunas características del suelo y con ello evitar algunos problemas de correlación que se presentan en las imágenes. Se utilizó el Índice de Vegetación Normalizada con la idea de aumentar la precisión de los resultados.

- **NDVI**

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Este resultado permite visualizar a través de los valores niveles digitales una discriminación más clara de la vegetación. El NDVI se calcula con la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{\text{Infrarojo Cercano} - \text{Rojo}}{\text{Infrarojo Cercano} + \text{Rojo}}$$



## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.1. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE LAS IMÁGENES

La clasificación temática de una imagen digital consiste en categorizar una imagen multibanda. Se pasa de tener unos niveles digitales (ND) continuos medido por el sensor a una escala nominal o categórica de manera que cada píxel pertenece a una categoría definida previamente (cobertura). El ND de un píxel clasificado es el identificador de la clase o categoría en la que se haya incluido. Estas clases pueden describir distintos tipos de cubiertas. Los métodos de clasificación se pueden distinguir supervisado y no supervisado, el método no supervisado se buscan automáticamente grupos de valores espectrales homogéneos en la imagen para que después el usuario intente encontrar las correspondencias entre esos grupos seleccionados automáticamente y las categorías que le puedan ser de interés. Por otro lado el método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno de donde se seleccionan las muestras para cada una de las diferentes categorías. Para nuestro caso utilizaremos el método supervisado.

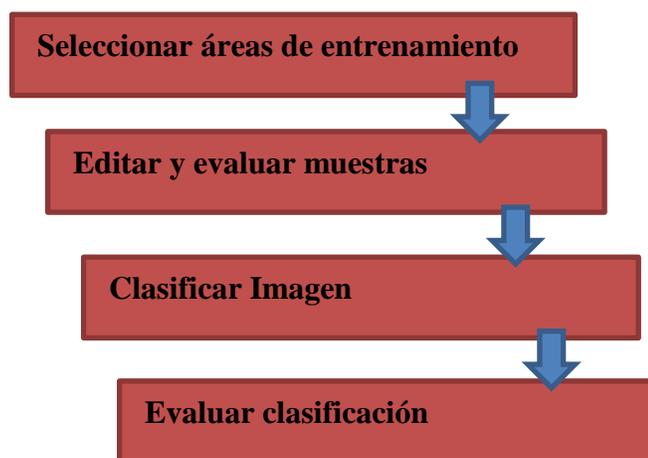


Grafico 2. Proceso de clasificación supervisada. Elaboración propia.

Este método de entrenamiento requiere un cierto conocimiento de la zona de estudio que permite delimitar sobre la imagen unas zonas o áreas representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar. Estas áreas se conocen como áreas de entrenamiento ya que sirven para entrenar al computador para que pueda reconocer las distintas categorías. A partir de estas áreas el computador calcula diversos parámetros estadísticos de los ND que definen cada clase, para luego clasificar el resto de píxeles en una categoría determinada atendiendo a sus ND.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tomado de Clasificación Digital de Imágenes por Satélite, Álvaro Yébenes Gómez y Álvaro Giner Sotos, 3º ITT.SE Sistemas de Telemida.

Con la evaluación de la clasificación lo que se pretende es dar una estimación de que tan buena fue la clasificación, el objetivo es el de dar una estimación de la calidad con que se están interpretando las diferentes coberturas presentes en el sistema de clasificación.

## **2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS COBERTURAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO**

Una vez identificadas las coberturas que se quieren extraer de la imagen, se seleccionan muestras de entrenamiento, estas son conjuntos de píxeles que representan lo que es conocido como un patrón discernible o una clase potencial<sup>2</sup>.

Para la definición de las zonas de entrenamiento se debe tener en cuenta: Primero que por cada clase de cobertura debe existir por lo menos un polígono y segundo el número mínimo de píxeles por clase debe estar entre  $10N$  y  $50N$ , de donde  $N$  es el número de banda de la imagen.

Para la clasificación multiespectral de la imagen se usaron cinco clases coberturas del nivel exploratorio del sistema de clasificación CIAF<sup>3</sup>. Para la clasificación temática se utilizaron las siguientes clases informativas:

- **Zona Urbana:** Se denominan así, todas aquellas obras hechas por el hombre para su servicio y beneficio en las que comúnmente usa materiales como el hierro, cemento, ladrillo y madera.
- **Cultivos:** Agrupa a cultivos permanentes y temporales. Se denominan cultivos permanentes, aquellos cuyo ciclo vegetativo dura más de dos años y ofrecen durante este, varias cosechas. Por su parte, cultivos temporales son aquellos cuyo ciclo vegetativo dura un año o menos y solo produce una cosecha durante este periodo.
- **Vegetación herbácea (pastos):** Agrupa a toda aquella vegetación de carácter herbáceo no leñoso.
- **Bosque:** Agrupa a todas aquellas coberturas vegetales cuyo estrato dominante está conformado principalmente de especies con tronco o tallo leñoso.

---

<sup>2</sup> Tomada de ERDAS Field Guide, Capítulo 6: Clasificación.

<sup>3</sup> Sistema de clasificación de uso y cobertura de la tierra CIAF, IGAC.

- **Cuerpos de Agua:** Agrupa las superficies y volúmenes de agua estática o de movimiento lento, sin vegetación o con vegetación, que reposan sobre la superficie terrestre.

## 2.3 APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN MÁXIMA

### PROBABILIDAD

Este método considera que los ND de cada categoría se ajustan a una distribución normal. Esto nos permite describir esa categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y matriz de varianza-covarianza. Así podemos calcular la probabilidad de que un determinado píxel pertenezca a una categoría; el cálculo se realiza para todas las categorías definidas y el píxel se clasifica en clase a la cual tenga más probabilidad de pertenecer. Este clasificador es el más complejo y por lo tanto, el que mayor volumen de cálculo requiere, pero es el más robusto y fiable ya que se ajusta a la distribución original de los datos.

Para calcular la probabilidad asociada a un cierto ND se necesita la media y la desviación típica de cada categoría. En el caso de trabajar con una sola banda la probabilidad se calcula de la siguiente forma:

$$D = \ln(a_c) - (0,5 * \ln(|cov_c|) - (0,5 * (X - X_m)^T * (cov_c)^{-1} * (X - M_c))$$

Dónde:

D = distancia ponderada (probabilidad)

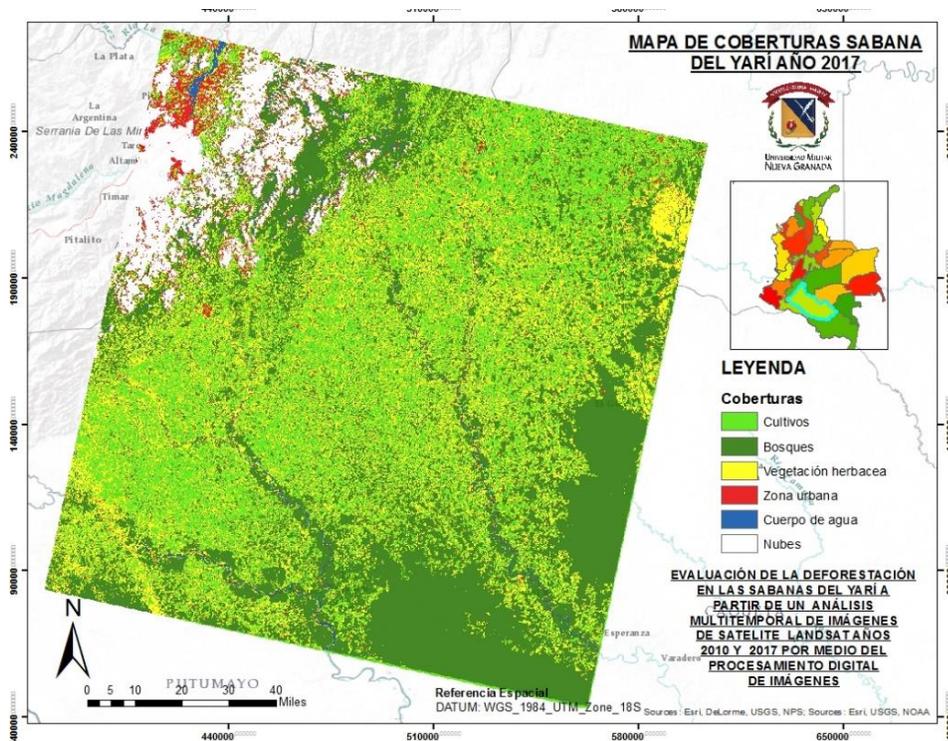
C = una clase particular

X = el vector medida del píxel candidato

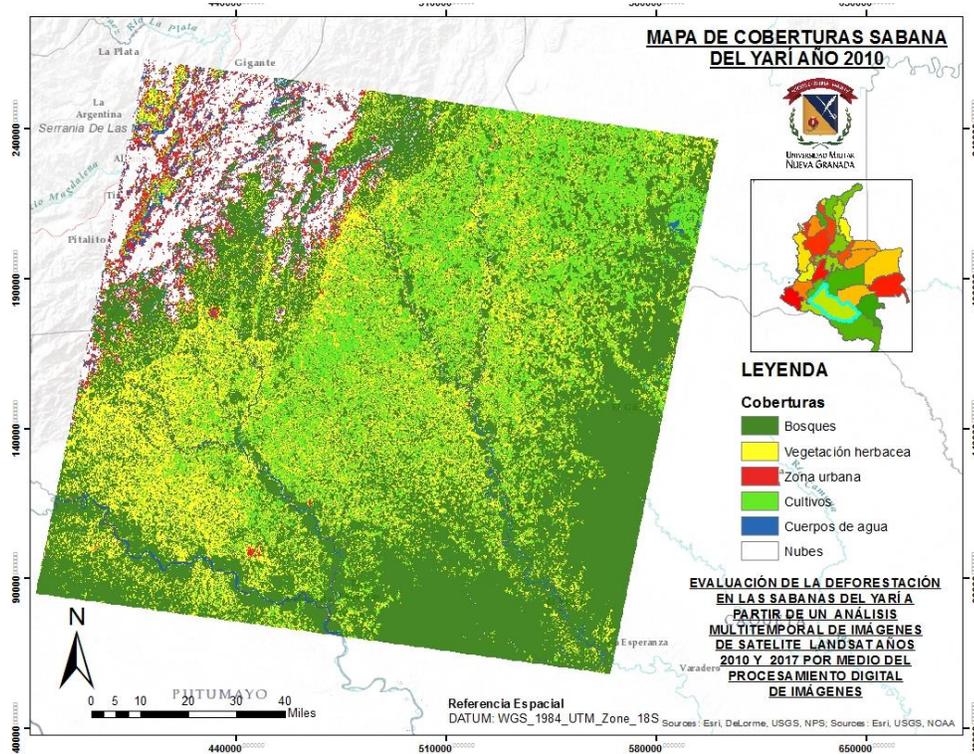
M<sub>c</sub> = el vector medida de la muestra de la clase c

a<sub>c</sub> = porcentaje de probabilidad con que un píxel candidato es miembro de la clase c.

Los resultados fueron los siguientes mapas:



Mapa 2. Clasificación de coberturas sabana del Yari año 2017. Elaboración propia.

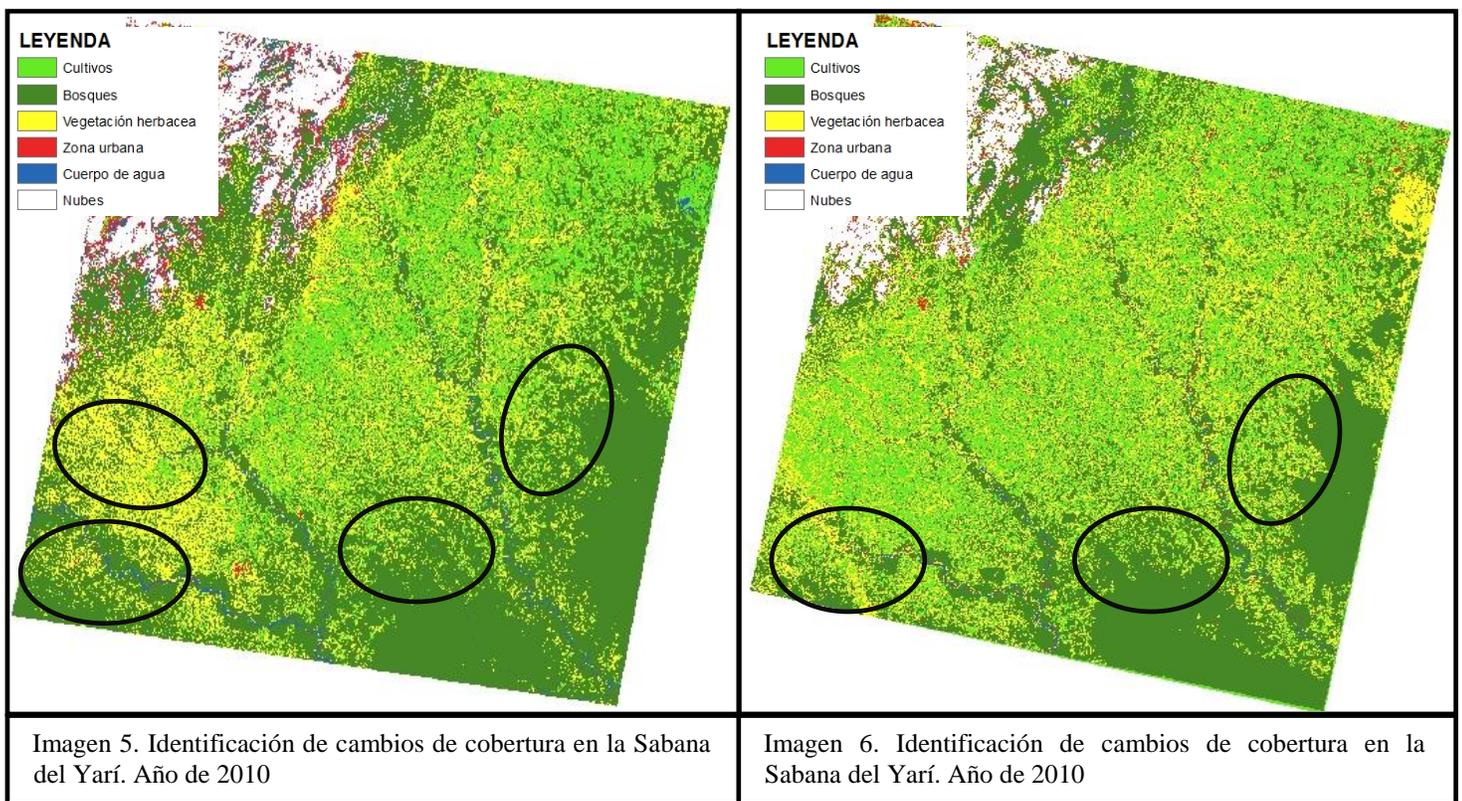


Mapa 3. Clasificación de coberturas sabana del Yari año 2010. Elaboración propia.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis multitemporal basado en el procesamiento de imágenes consiste en la comparación de imágenes de diferentes periodos de tiempo, mediante el uso del software PCI GEOMATIC para la identificación de coberturas en función de los valores de pixeles almacenados.

La determinación de las coberturas, fue realizada mediante la clasificación supervisada, a partir de esta clasificación fue posible la realización de los diferentes análisis de pérdidas de cobertura en la zona.



En las imágenes 5 y 6 se presentan los resultados de la clasificación correspondientes a las dos fechas analizadas, donde se evidencia la progresiva deforestación a lo largo del tiempo. Sobre la base del análisis de las imágenes satelitales se construyeron la tabla 2 y el grafico 3, donde se presentan los datos (en hectáreas) de las coberturas dela zona en las distintas fechas.

COBERTURA DEL SUELO	ÁREA 2010 (Ha)	ÁREA 2017 (Ha)
BOSQUES	1.109.104	599.283
VEGETACIÓN HERBACEA	785.387	889.589
ZONAS URBANAS	137.183	219.979
CULTIVOS	618.296	1.282.857
CUERPOS DE AGUA	109.488	50.845

Tabla 2. Comparativo de coberturas en los años 2010 y 2017. Elaboración propia.

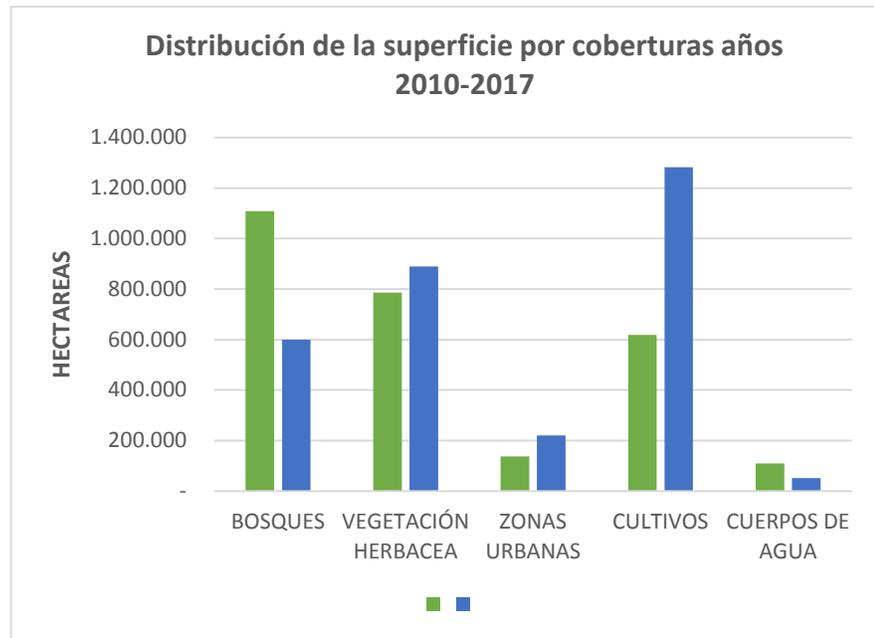
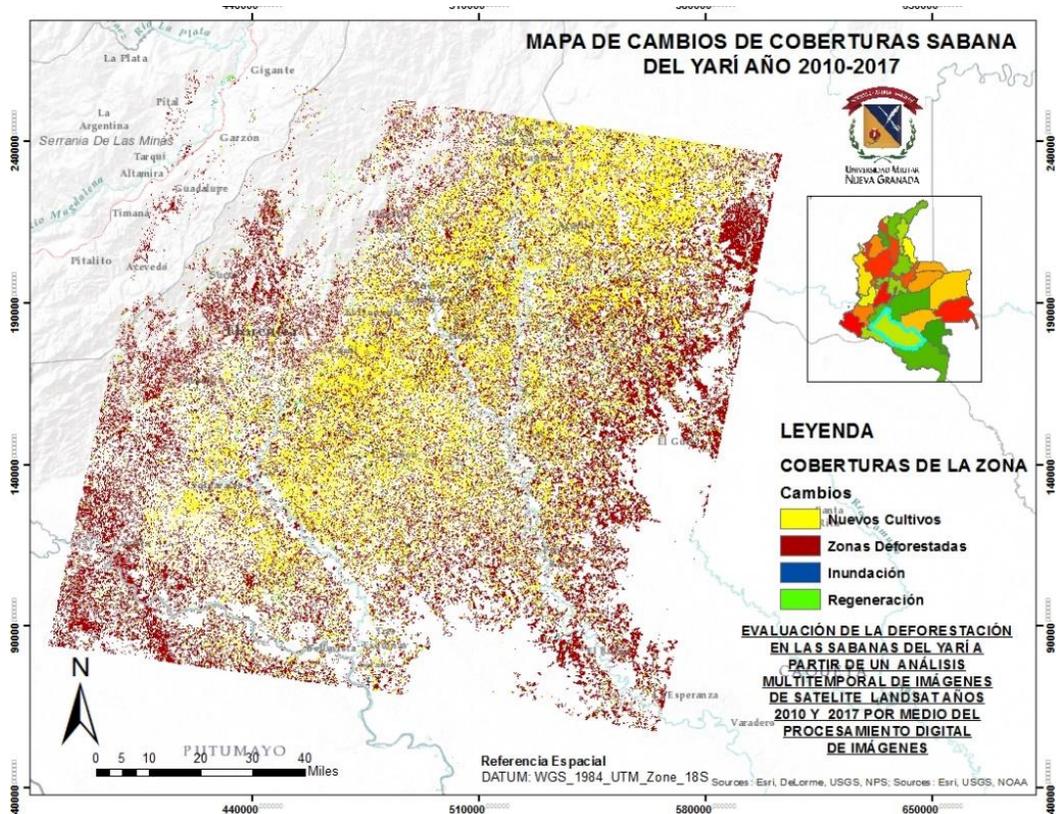


Gráfico 3. Comparación gráfica de coberturas en los años 2010 y 2017. Elaboración propia.

En el 2010 la superficie cubierta con bosque natural ascendía a un 40 % del total del área en estudio, para el año 2017, dicha superficie alcanzaba solo el 21 % del total del área. En cuanto a los cultivos se observa que en 7 años ha aumentado casi el doble, para el año 2010, 618.296 ha es decir el 22% del total de área de estudio se presentaba cultivos, ya para el año 2017 esta cifra aumento a 1.282.857 ha, que equivale al 46% del total del área de estudio.

Con los resultados de la clasificación se generó el mapa de cambios, el cual identifica aquellas zonas o pixeles que presentaron un cambio entre los dos años de comparación.



Mapa 4. Mapa de cambios de coberturas presentados entre los años 2010-2017. Elaboración propia.

Se observa las zonas que están en amarillo como se ha distribuido por toda el área de estudio identificando nuevos cultivos, los cuales han aumentado de forma irracional, sin asistencia técnica lo que causa consecuencias graves en los bosques donde se practica, dado que estas actividades se desarrollan mayormente en suelos de vocación forestal, además es una actividad itinerante que por las mismas condiciones del suelo, los degrada rápidamente y exige en corto plazo nuevas tierras, lo que implica nuevamente la tala de bosque.

Se logra identificar de acuerdo a la tabla de cambios de cobertura que los procesos extractivos forestales, realizados en el área de estudio, corresponden en pérdida a 509,821 Ha, es decir se perdió un 46% de bosques con respecto al año 2010, como consecuencia directa se observa el aumento de las áreas de cultivo en un 51%, lo que equivale a un aumento de 664.561 ha dedicadas a esta actividad.

CAMBIO EN LAS COBERTURAS DEL SUELO	CAMBIO DE COBERTURA (HA)	% DE CAMBIO
ZONA DEFORESTADA	509.821	46
AUMENTO DE VEGETACIÓN HERBACEA	104.202	8
EXPANSIÓN DE ZONAS URBANAS	82.796	37
AUMENTO DECULTIVOS	664.561	51
DISMINUCIÓN DE CUERPOS DE AGUA	58.643	53

Tabla 3. Cálculo del cambio en las coberturas del uso del suelo.

## CONCLUSIONES

- Como conclusión se puede afirmar que en las imágenes satelitales siempre habrá elementos que entorpezcan, dificulten el procesamiento o simplemente disminuyan la calidad de los resultados desde errores en la toma de las imágenes hasta los fenómenos climáticos que hacen parte del día a día.
- Los índices y transformaciones son una herramienta muy importante a la hora del procesamiento ya que proporcionan nueva información que no se encuentra directamente en los datos originales y se pueden obtener fácilmente usando matemática de bandas, y de la misma manera hay que saber cuáles son los indicadores y cuál es su propósito.
- Se logró identificar para la zona de estudio, que dada la ubicación geográfica y política de la sabana del Yará, el uso de cultivos ilícitos, al igual que la expansión de los usos agrícolas y ganaderos, causa daños graves e irreversibles a la cobertura vegetal que se ve afectada por el uso de estas actividades, debido a la alta rentabilidad de estos y sobre todo en estas regiones donde no hay casi presencia del estado, donde la existencia de grupos armados ilegales garantizan la seguridad de los cultivos, ahora bien con el proceso de paz que se está llevando a cabo por el actual gobierno, donde a los cultivadores de coca se les ha prometido beneficios si dejan de dedicarse a esta actividad, muchos de ellos han optado por aumentar los cultivos ya que estos beneficios se miden en relación al área cultivada que estén desarrollando, es decir, entre más grande sea el área de cultivos ilícitos que estén realizando, mayor será el beneficio que obtendrán.
- Es necesario establecer relaciones más cercanas con la población que se orienten hacia una política de protección de bosques y a un buen manejo de cultivos que permita

garantizar la calidad del suelo. De acuerdo al análisis de las imágenes se presenta un patrón de intervención antrópica fuerte y generalizada sobre toda la zona de estudio.

## **REFERENCIAS**

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2014). *V INFORME NACIONAL DE BIODIVERSIDAD DE COLOMBIA*.

USGS EROS. (2010). “*LANDSAT: A GLOBAL LAND-IMAGING PROJECT*”, *LANDSAT MISSIONS*, NASA. Disponible en <http://landsat.usgs.gov>.

Revista de geografía Norte Grans. (2010) *ESTIMACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL URBANO, A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE*.

Luis Marino Santana Rodríguez, Luis Alfonso Escobar Jaramillo y Paolo Andrés Capote,

3° ITT.SE Sistemas de Telemida. *CLASIFICACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES POR SATÉLITE*. Álvaro Yébenes Gómez y Álvaro Giner Sotos.

ERDAS Field Guide, Capitulo 6: *CLASIFICACIÓN*.

CIAF, IGAC. *SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA*