

# **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO DEL ÁREA SEMBRADA EN PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) Y SU EFECTO EN LOS ESPACIOS NATURALES EN LA ZONA DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA**

**AUTOR**

**Adrián Armando Díaz Beltrán**

Ingeniero Agrónomo  
[ing.diazadrian@gmail.com](mailto:ing.diazadrian@gmail.com)

**“Artículo presentado como requisito para obtener el título de Especialista en  
Geomática”**

**TUTOR**

**Ing. Felipe Alfredo Riaño Pérez**

Director Académico de Laboratorios  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Militar Nueva Granada  
[felipe.riano@unimilitar.edu.co](mailto:felipe.riano@unimilitar.edu.co)



**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**

**ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
JULIO 2017**

# ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO DEL ÁREA SEMBRADA EN PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis*) Y SU EFECTO EN LOS ESPACIOS NATURALES EN LA ZONA DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

## MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE GROWTH AREA PLANTED IN AFRICAN PALM (*Elaeis guineensis*) AND ITS EFFECT ON THE NATURAL SPACES IN THE LLANOS ORIENTALES OF COLOMBIA

Adrián Armando Díaz Beltrán  
Ingeniero Agrónomo, Especialización en Geomática  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia  
[ing.diazadrian@gmail.com](mailto:ing.diazadrian@gmail.com)

### RESUMEN

La Palma Africana es un monocultivo perenne, que ha sido culpado de alterar los ecosistemas, arrasando con los bosques para convertirlos en un único cultivo, afectando la fauna y flora de la región, además de requerir grandes extensiones de tierra para una buena explotación. También requiere de una alta demanda de agua, por lo que en época de verano se hace necesario captar agua de corrientes superficiales o bien de aguas residuales tratadas.

Como parte de la discusión, este trabajo propone evaluar el impacto ambiental que pueda ocasionar la expansión del cultivo de Palma en plantaciones conocidas ubicadas en los departamentos de Casanare, Cundinamarca y Meta.

A partir de información vectorial de coberturas naturales y de plantaciones comerciales de Palma Africana y de una imagen satelital Landsat 8 de la misma zona; se pretende realizar un análisis multitemporal de la dinámica del crecimiento que han tenido las plantaciones Palma Africana en la zona de estudio, en tres momentos diferentes que serán los años 2009, 2013 y 2016.

El resultado dará información sobre los cambios de diferentes coberturas asociadas al área inicial de las plantaciones, dónde se determinará si el cultivo ha crecido en área y cómo se han ido afectando las coberturas de bosque, vegetación nativa y fuentes hídricas aledañas.

**Palabras clave:** Vegetación nativa, Multiespectral, Bosques, Aceite, Multibandas e imágenes.

## **ABSTRACT**

African palm is a perennial monoculture, which has been blamed for altering ecosystems, devastating forests to become a single crop, affecting the region's fauna and flora, and requiring large tracts of land for good exploitation. It also requires a high amount of water, so in summer they take it from surface streams or from treated wastewater.

As part of the discussion, this paper proposes to evaluate the environmental impact that can cause the expansion of palm cultivation in known plantations located in the departments of Casanare and Meta.

From information of different plantations, such as net area planted, number of lots, palms density per hectare and age of the same; It is intended to perform a multitemporal analysis from Landsat 8 satellite image and cover shapes, in three different moments that are the years 2009, 2013 and 2016.

The result will give information on the changes of different coverages associated with the initial area of the plantations, where it will be determined if the crop has grown in the area and how the coverages of forests, native vegetation and surrounding water sources have been affected.

**Keywords:** Native vegetation, Multispectral, Woods, Oil, Multiband and images.

## INTRODUCCIÓN

La Palma Africana necesita condiciones climáticas y de terreno (condiciones edafo-climáticas) muy específicas para una producción ideal: las zonas tropicales del mundo resultan ser particularmente apropiadas para su cultivo. (Mingorance, Minelli & Le Du, 2014). De acuerdo a este señalamiento, Colombia al estar ubicado en una zona tropical entre 15° de Latitud Norte y 15° de Latitud Sur se ha identificado como una zona de condiciones geográficas, edafológicas y climáticas del país para el cultivo de palma de aceite.

Para que un cultivo de Palma Africana sea económicamente rentable en el marco de un mercado de tipo competitivo, Mingorance, et. al., (2014) sostiene que este cultivo requiere desarrollarse en grandes extensiones que garanticen la producción de la suficiente cantidad de fruto para justificar los costos de establecimiento de la plantación, su cosecha y posterior transporte, el eventual establecimiento de plantas procesadoras y refinadoras, cadenas de distribución y en general la creación de economías de escala.

A medida que se amplíe la producción, ésta se constituirá como uno de los sectores de la agroindustria con mayor crecimiento y desarrollo, abarcando grandes extensiones de tierra para su siembra en diferentes zonas del país.

Con este proyecto se pretende optimizar las técnicas de trabajo que se realizan en campo, apoyándose en la percepción remota con análisis multitemporal, que permitan identificar cambios en el área sembrada y mantener un seguimiento de las áreas de expansión.

Además, se presenta una gran alternativa para identificar los impactos

ambientales que la expansión del cultivo de Palma Africana pueda estar ocasionando en el ecosistema de la región como efectos en la reducción de áreas de bosque, vegetación nativa y alteración de fuentes hídricas.

Se propone identificar las áreas que se han ido expandiendo, o las que se han dispuesto para el cultivo como nuevas, por medio de las bandas del espectro que brinda la imagen satelital Landsat 8 y sus respectivas combinaciones que determinan las coberturas del suelo y su uso actual. Se utilizarán como insumo, shapes de coberturas de suelo del año 2009 y shapes de plantaciones comerciales de palma con fecha del año 2013, que servirán de base para identificar las zonas de expansión que ha tenido el cultivo de Palma, y que finalmente se contrastarán con una imagen satelital Landsat 8 del año 2016.

Este estudio pretende brindar un acercamiento a la evaluación a nivel general de los impactos negativos sobre el ambiente, que puede conllevar la expansión sin planificación del cultivo de Palma Africana en las zonas productoras del país.

## 1. GENERALIDADES

La Palma de aceite o africana, es el cultivo que produce la mayor cantidad de aceite por unidad de superficie. Como su nombre lo indica es originaria de países africanos, llegando a ser exportada a varias partes del mundo y genéticamente modificada con especies locales para la creación de híbridos que permiten el incremento de la producción. (Mingorance, et. al., 2014)

Colombia por encontrarse en zona tropical posee las condiciones necesarias y apropiadas para el cultivo

de la Palma de Aceite. De acuerdo como lo afirma Mingorance, et. al., (2014), las condiciones óptimas para el cultivo se requiere una altitud máxima de 500 msnm con pendientes menores a 23%, los suelos deben ser planos o con ondulamiento suave, suelos francos y con buen drenaje, el pH debe ser neutro o moderadamente ácido, máximo con pH de 4. La temperatura oscila entre los 22° a 33°C siendo esta la más alta, precipitaciones entre 1800 y 2200 mm anuales y humedad relativa de 80%.

La Palma Africana no solo es un cultivo de alto rendimiento por la cantidad de aceite que produce por hectárea sino además por la variedad de productos que el resto de la planta genera y como se utiliza en la industria. Mingorance, et. al., (2014).

Del fruto se extraen el aceite de palma y el aceite de palmiste del cual se obtiene de la almendra del fruto. Para este proceso se debe esterilizar el fruto, desgranar del racimo, macerarlos hasta extraer el aceite de la pulpa para luego clasificarlo y recuperar las almendras del bagazo restante. Mingorance, et. al., (2014).

## **1.2 CULTIVO DE PALMA EN COLOMBIA**

La Palma Africana llegó a América por los colonizadores portugueses que la utilizaban con alimento de los esclavos en Brasil. Se estima que llegó al país en el año de 1932, siendo las plantas utilizadas para decoración. El cultivo con fines productivos empezó en el año de 1945 con la primera plantación en el departamento del Magdalena por parte de la United Fruit Company. Ese mismo año la compañía inició un cultivo en la estación Agroforestal del Pacífico (Calima, Valle), la cual sirvió de

semillero para el uso en el resto del país. En 1962 se creó en Colombia la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (Mingorance, et. al., 2014).

## **1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CULTIVO DE LA PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA**

Colombia cuenta con 3.5 millones de hectáreas para la plantación de este cultivo. (Aguilera, 2002). La Federación Nacional de Cultivadores divide el país en 4 zonas productivas que comprenden 54 municipios:

- Norte: departamentos de Magdalena, norte del Cesar, Atlántico, Guajira.
- Central: departamentos de Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar.
- Oriental: departamentos de Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá.
- Occidental: departamento de Nariño.

El monocultivo de la Palma Africana es un eje transversal en la economía agroindustrial en las regiones, generando que otros cultivos se vean desplazados. En Colombia se han presentado conflictos de tipo social y ambiental como la destrucción de bosques nativos en el Chocó deforestado en 456 hectáreas de selva por tala en el municipio de Tumaco [1], así como la alteración del suelo y los ciclos de lluvia en las regiones de Orinoquía y Caribe. (López-Duque & Botero-Fernández, 2014).

## **1.4 CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS**

La necesidad de cuantificar los cambios en la cobertura de la superficie terrestre por actividades antrópicas, sirven como

indicadores de presión, cambios en el uso de la tierra y fenómenos considerados como responsable de las emisiones de gases. (Rodríguez, 2011)

Los sensores remotos juegan un papel importante al momento de adquirir datos estudiando las coberturas vegetales y el uso de la tierra, ofreciendo información multitemporal, determinada por la regularidad de toma de datos, que permite la cuantificación y seguimiento de los cambios que ocurren en las coberturas de estudio y en el análisis de información a través de la respuesta espectral de los objetos, discriminando objetos que no son vistos a simple vista. (Rodríguez, 2011)

Los sensores remotos son diversos en cuanto a resolución espacial y temporal, es por esto que las imágenes satelitales del sensor Landsat, son las más utilizadas para mapear las coberturas del suelo, llegando a ser un recurso ideal para investigaciones y monitoreo de la tierra, enfocado a los recursos naturales. (Rodríguez, 2011)

La metodología más usada para la clasificación de coberturas y usos del suelo, es la europea, CORINE (Coordination of information of the Environment) Land Cover, surgió en 1985 como proyecto en países de la Unión Europea, con la finalidad de captura de datos de tipo numérico y espacial, dando como resultado una base de Europa a escala 1:100000, basándose en las imágenes del satélite (Rodríguez, 2011)

En Colombia se adaptó hasta el año 2006, para la cuenca del Magdalena-Cauca, en convenio con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Corporación Autónoma Regional del Río Grande de

la Magdalena (CORMAGDALENA) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Estructurando la clasificación de las coberturas a una escala 1:100000, con imágenes satelitales del sensor Landsat (Rodríguez, 2011)

Para la identificación de coberturas y usos de la tierra con productos de sensores remotos, en Colombia se realizan tres fases: 1) selección de la fuente de visualización (imagen, escala), 2) estructuración de leyenda preliminar de cobertura y uso y 3) captura digital de la cobertura (IGAC, 2010), generando el mapa de coberturas y usos de la tierra de Colombia. (Rodríguez, 2011) Colombia cuenta con una alta diversidad en coberturas, por lo que es importante tener todo el conocimiento de estas coberturas en el país.

## **1.5 CLASIFICACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES**

De acuerdo con Gutiérrez & Jegat, (2005), clasificar es agrupar conjuntos de objetos en clases, mediante procesos y estadísticas, en formato digital. Este procesamiento se realiza mediante supervisión, tomando muestras de una zona conocida o no supervisada la cual asigna a diferentes coberturas un número de diferentes clases.

Polanco (2012), indica que cualquier tipo de clasificación que se elija “debe realizarse en zonas de las mismas características edafoclimáticas, para facilitar la corrección por efecto de la topografía”. “en la clasificación no supervisada, los píxeles se agrupan de manera iterativa en un número predefinido de clases sin significado temático”. Gutiérrez & Jegat. (2005) indican que la clasificación supervisada asigna atributos a las imágenes, proceso

en el cual “instruye al sistema sobre los tipos de uso y cobertura presentes en la imagen, mediante muestras de entrenamiento, a diferencia de las clasificaciones no supervisadas”.

La clasificación es la etapa final de un proyecto en un procesamiento digital y el objetivo principal es generar mapas temáticos. “La clasificación digital no es la definición absoluta de cada cubierta, aplicable a cualquier tipo de imagen, sino la expresión relativa y válida para una determinada imagen, tiempo y región” Cabrera et al., IDEAM, 2011.

## **1.6 CLASIFICACIÓN DIGITAL NO SUPERVISADA**

Este proceso se fundamenta en la elección de las bandas espectrales de una imagen a clasificar, se define un número de clases espectrales, se seleccionan los criterios de similitud y los algoritmos de agrupación de los ND (Posada, 2008). Este método no requiere del operador, no es necesario un conocimiento previo, por lo que el mismo algoritmo es quien define de acuerdo a los datos, el número de clases o categorías en las cuales se realizará la clasificación. Se deben suministrar algunos valores, como el número de clases que se quiere crear, tamaños mínimos y máximos de cada una. Este método entrega como resultado una capa ráster con los pixeles clasificados.

## **1.7 CLASIFICACIÓN DIGITAL SUPERVISADA**

En este proceso los pixeles con identidad conocida, ubicados dentro de un área de entrenamiento, se usan para clasificar pixeles de identidad desconocida.

Esta clasificación involucra las siguientes etapas:

- Análisis estadístico y visual de bandas
- Etapa de entrenamiento.
- Selección del algoritmo de clasificación adecuado y clasificación.
- Operaciones de post clasificación.

Este método intenta definir las clases temáticas que no sean claras en el significado espectral, por lo que se considera como método artificial (Posada, 2008). Esta clasificación requiere de conocimiento del terreno y el área de estudio para lo que se realiza (trabajo en campo, fotografías aéreas, mapas e informes técnicos, así como referencias profesionales y locales.

Basándose en este conocimiento se definen y delimitan sobre la imagen las áreas piloto. Las características espectrales de tales áreas son utilizadas para entrenar un algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio piloto y de esta forma proceder a evaluar cada ND de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase.

## **1.8 CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA**

Esta herramienta se utiliza para que se facilite la interpretación de imágenes tanto para el intérprete, como para posteriores análisis digitales, debido a que mejora la calidad visual de la imagen.

Para el estudio de la vegetación, es la que más se utilizan insumos de este tipo como imágenes de satélite, radar entre otros. Posterior a la evaluación del estado de la vegetación, en la corrección atmosférica se utilizan índices de vegetación, los cuales permiten examinar el estado de la vegetación a partir de la fluorescencia relativa de la

clorofila (niveles relativos de clorofila), estrés en la vegetación y densidad foliar de la misma (LAI); al obtener el resultado de ellos, se puede hacer un análisis en el cual se pueden tomar decisiones acertadas, enfocadas al estado de la vegetación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la visualización, consulta, edición y demás tratamientos de la información vectorial, es decir al shape correspondiente a coberturas vegetales y las coberturas de plantaciones de Palma Africana, se utilizará el software ArcGis 10.3. El manejo de la información raster, como es el caso de las imágenes satelitales, se realizará con la ayuda del software PCI Geomatics versión 2014.

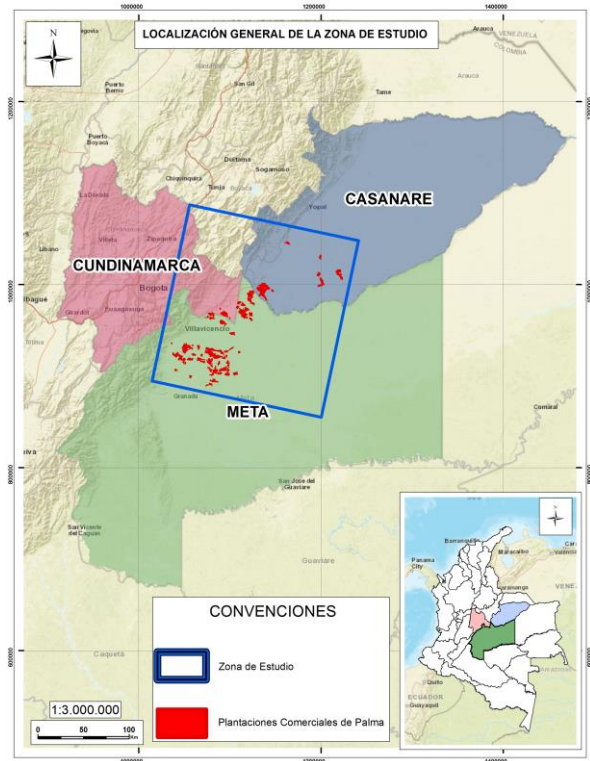
### 2.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El análisis se realizó en el área de los Llanos Orientales, comprendiendo algunas áreas de los departamentos de Casanare, Cundinamarca y Meta. La zona de estudio está localizada en la zona oriental de Colombia, entre las coordenadas geográficas WGS84: 3°17'07,87" y 5°23'0.19" de latitud Norte y entre los 71°54'07.95" y 73°56'41.45" de longitud al Oeste del meridiano de Greenwich. El área de estudio posee una extensión aproximada de 3'726.231,3 hectáreas.

### 2.2 GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el piedemonte llanero y se encuentra en la base de la cordillera oriental (200 a 700 msnm.). La zona de la Orinoquía, se encuentra dentro de la —Zona de Influencia de la Circulación Atmosférica Tropical, conformada por una franja de

baja presión, llamada —Zona de Convergencia Intertropical que afecta el régimen de lluvias, y define un régimen pluviométrico monomodal, con periodo seco en los meses de diciembre a marzo y lluvioso de abril a noviembre, con precipitaciones locales que varían entre 2000 a 2600 mm al año. (Rodríguez, 2011)



**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio (coordenadas planas: Datum Magna-sirgas, origen Este; coordenadas geográficas: WGS84).

**Fuente:** Elaboración propia.

La temperatura aumenta de occidente a oriente, de las zonas más altas a la altiplanicie, con temperatura promedio anual varía de 24 a 27°C, con máximas de entre 30,8 y 31,1°C coincidiendo los meses más calientes con los más secos (enero, febrero y marzo), y los más fríos (con temperaturas mínimas entre 19,3°C y 20,02°C) los fríos con los más húmedos, la humedad relativa oscila entre el 60% y 90%. (Rodríguez, 2011)



## 2.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El proceso se inició con la revisión de literatura de aspectos básicos y avanzados de la clasificación de imágenes y las temáticas que involucraron la investigación, enfocados a la geomática. También se recopiló información existente del área de estudio, para el desarrollo del proyecto.

Para determinar el área de estudio se tomó como límite el área de la escena Landsat con Path = 7 y Row = 57.

**Tabla 1.** Fuentes de Información recopilada para el área de estudio.

Información	Entidad	Año
Shape de coberturas de la tierra	Instituto Geográfico Agustín Codazzi	2009
Shape de plantaciones comerciales de Palma Africana	Fedepalma	2013
Imagen Satelital	Servicio Geológico de E.E. U.U.	2016

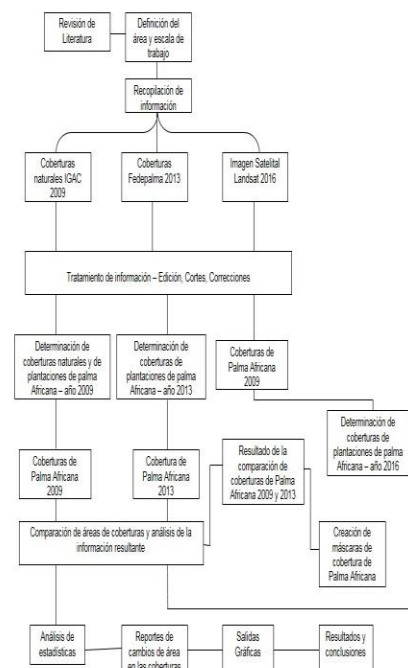
*Fuente:* Elaboración propia.

La escala, se determinó teniendo en cuenta la disponibilidad de la resolución espacial de la imagen satelital Landsat y la multi-escala, ajustado a una escala digital de 1:33.000, valor máximo en el cual los objetos no presentan una distorsión visual en el programa de procesamiento de imágenes. Para efectos de salida gráfica y/o análoga se optó por manejar la escala 1:50.000.

## 2.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE ANÁLISIS

Para la ejecución del proyecto, se hace necesario distinguir tres fases; cada una de ellas está determinada por una época de análisis y por las fuentes de datos que se tomarán como base. El primer proceso es el tratamiento de la

información de un shape de coberturas de suelo del año 2009. La segunda fase corresponde al tratamiento de la información de un shape de plantaciones comerciales de Palma Africana con información del año 2013 y finalmente el procesamiento de una imagen satelital Landsat 8 con fecha de captura correspondiente al año 2016.



**Figura 2.** Diagrama de metodología propuesta para el análisis multitemporal.

*Fuente:* Elaboración propia.

Estas tres fases en su conjunto permitirán realizar un análisis multitemporal de la dinámica del crecimiento de las áreas sembradas de Palma Africana en la zona de estudio seleccionada, a través de un período de 8 años, realizando un comparativo de áreas en los años 2009, 2013 y 2016.

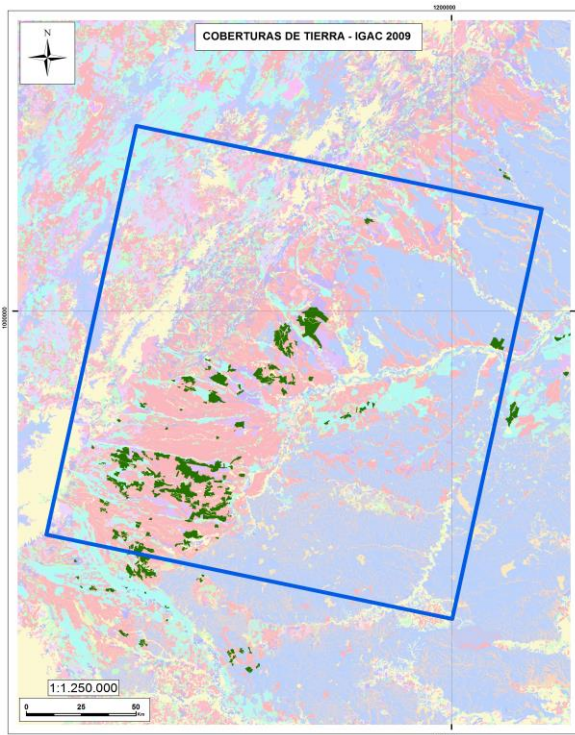
## 2.5 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE COBERTURAS DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN

El primer proceso consiste en el tratamiento de la información obtenida

del portal del IGAC, que corresponde a la información de coberturas vegetales y de uso de suelo para el año de 2009.

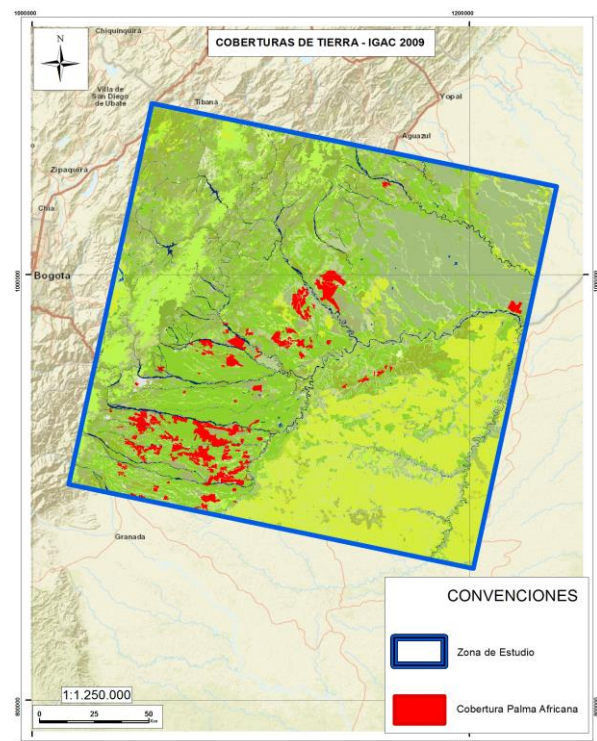
Esta información se encuentra en formato shape y contiene las coberturas vegetales para todo el territorio de Colombia. Allí se muestran las coberturas vegetales, ríos y espacios naturales de la zona de estudio.

En la figura 3, se observan las coberturas de la tierra del año 2009, donde se resalta en color verde oscuro las áreas correspondientes al cultivo de Palma Africana. Después de obtener el shape de coberturas, se procede a su visualización en el software ArcGis 10.3. Se identifican las coberturas a nivel 3, según la clasificación Corine Land Cover. Ahora, se dibuja un polígono que determinará el área de estudio para todos los procesos que se llevarán a cabo.



**Figura 3.** Visualización de shape de coberturas de la tierra para el año 2009.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Con este polígono, se realiza un corte al archivo de coberturas para hacerlo coincidir con el área de trabajo y determinar las coberturas que se encuentran asociadas al área de estudio. Al shape original de coberturas de suelo, se le realiza un proceso de corte con el polígono del área de estudio, para crear una nuevo shape con las coberturas dentro del polígono seleccionado y determinar posteriormente el área que ocupa cada una de las coberturas.



**Figura 4.** Visualización del corte del shape de coberturas del año 2009, según la zona de estudio.

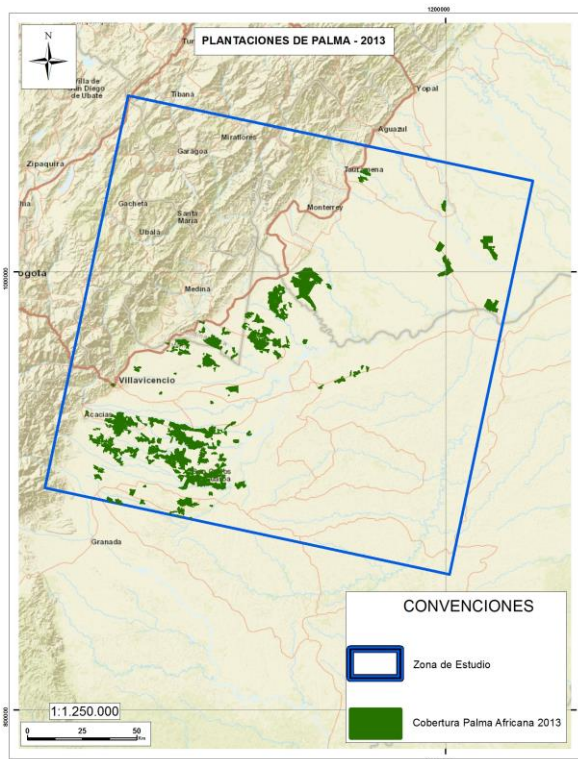
**Fuente:** Elaboración propia.

Luego de realizar el corte, se calcularon las áreas correspondientes a cada una de las coberturas de suelo. La obtención del cálculo del área para cada una de las coberturas permitirá cuantificar en una tabla las diferentes áreas por cobertura para el año 2009. De esta manera se pudo establecer el área que ocupa las plantaciones de Palma Africana.

## 2.6 PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE PLANTACIONES COMERCIALES DE PALMA AFRICANA

El segundo proceso tiene como base el shape de plantaciones comerciales de Palma Africana correspondiente a información de Fedepalma del año 2013.

La información que se posee sobre plantaciones de palma consiste en shapfiles de empresas palmeras que se encuentran ubicadas en el oriente colombiano, específicamente en los departamentos de Cundinamarca, Meta y Casanare.



**Figura 5.** Visualización de plantaciones comerciales de Palma Africana para el año de 2013 en la zona de estudio.

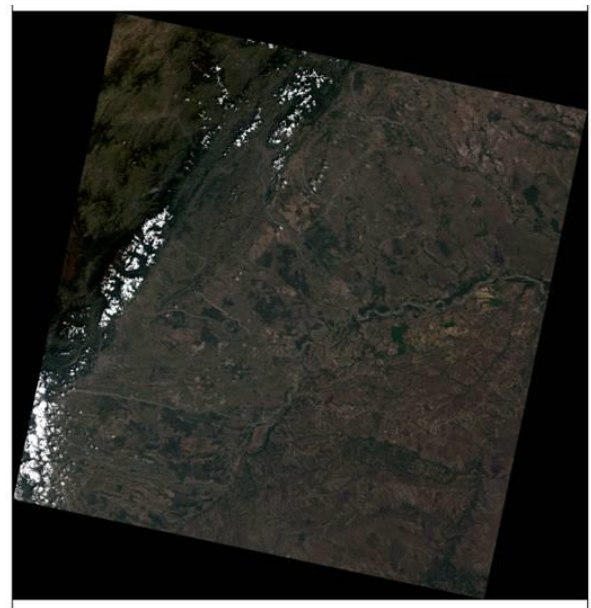
**Fuente:** Elaboración propia.

Posteriormente se realiza un contraste entre las coberturas de Palma Africana del año 2009 y el año 2013, para calcular la diferencia de área entre los dos años y determinar el área de crecimiento que ha tenido el cultivo en

ese periodo de tiempo. También se busca identificar las coberturas vegetales que fueron afectadas con este crecimiento y el área que fue reemplazada por el cultivo de Palma Africana.

## 2.7 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Se utilizó una escena del satélite Landsat (Figura XX), del año 2016. La imagen adquirida posee un tratamiento realizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), con una corrección estándar de terreno, nivel 1T, quiere decir, con precisión radiométrica y geométrica sistemática, empleando los modelos digitales de elevación SRTM, NED, CDAD, DTED, y GTOPO 30, para precisión y corrección topográfica.



**Figura 6.** Imagen Landsat 8 del año 2016, correspondiente a la zona de estudio.

**Fuente:** Servicio de Geología de Estados Unidos.

La selección de la imagen de resolución media Landsat 8 para la zona de estudio, se basó en parámetros de calidad de la imagen y en la

disponibilidad de la fecha de toma, buscando que la imagen corresponda al año 2016 y que se encuentre en el período del primer trimestre del año, es decir entre los meses de enero a marzo.

Este período es escogido debido a que, en la zona de los llanos orientales, estos meses son los que presentan menores precipitaciones y corresponden a la estación seca de la región.

La anterior característica facilita la identificación de las coberturas vegetales correspondientes a las plantaciones de Palma Africana.

Además, se busca evitar que la imagen posea gran cantidad de presencia de nubes, que podría dificultar el proceso de clasificación de coberturas. Es necesario contar con una imagen con una cobertura de nubes menor al 10%.

**Tabla 2.** Parámetros de imágenes del sensor Landsat

Características	Parámetro
Nombre de descarga	LC80070572016032LGN00
Fuente	U.S. Geological Survey
Fecha de adquisición	Febrero 1 del 2016
Sensor	LANDSAT_8
Resolución espacial	15 m, pancromática
	30 m, multiespectral
Método de re-muestreo	Convolución cúbica
Proyección	UTM – WGS 84
Nubosidad	1,81 %
Escena (fila/columna)	7 / 57

**Fuente:** Servicio de Geología de Estados Unidos.

## 2.8 CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

Se realiza para convertir el DN de las imágenes (número digital) a la reflectancia de la tierra.

En el PCI Geomatics, se utiliza la herramienta ATCOR; en la herramienta

ATCOR se va al módulo de reflectancia de la tierra, al activar el modulo y cargar la imagen, la información del sensor se extrae automáticamente de los metadatos. Esto incluye: ganancia y sesgo para las bandas, cenit solar y azimut.

Al finalizar la corrección atmosférica, se comparan los niveles digitales de la imagen sin corrección, versus la imagen con corrección atmosférica, también se observan los histogramas de la imagen antes y después de la corrección para su comparación, se evidencia que los valores de radiancia, fueron modificados a valores de reflectancia

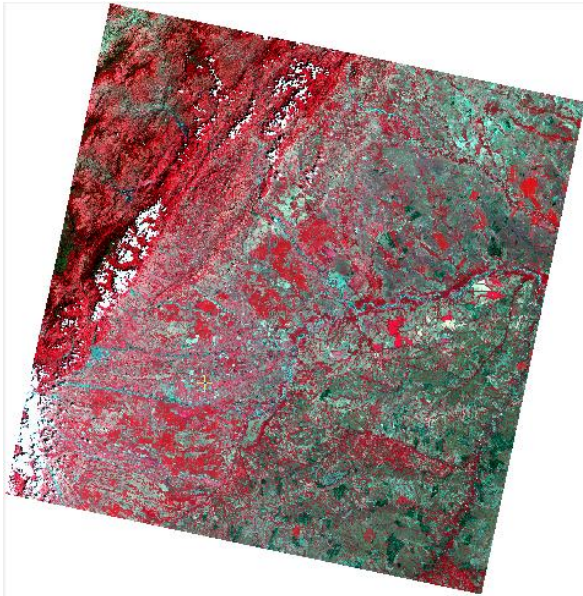
## 2.9 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Tomando como base el shape de coberturas del año 2009 y el shape de plantaciones comerciales de palma del año 2013, se procede a utilizar las áreas identificadas como cultivos de palma como máscaras que sirvan para clasificar en la imagen satelital el total de las áreas donde se encuentra establecida la palma africana en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada permitirán generar el análisis correspondiente a las variaciones en el tiempo de las coberturas o clases definidas en el shape inicial del año 2009. Es decir, a partir de las clasificaciones generadas para cada periodo se calcula la diferencia de las áreas en los diferentes años del estudio, para evaluar si existen cambios significativos en el tiempo.

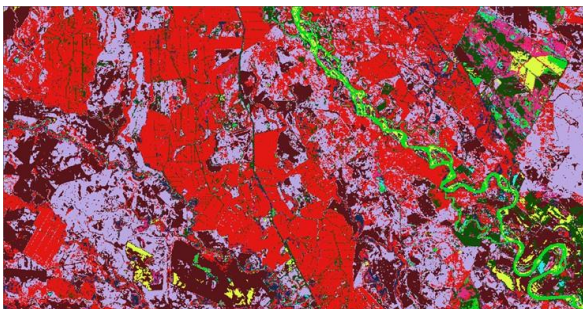
Luego de haber realizado la corrección atmosférica, se procedió a realizar las estadísticas para cada una de las bandas y las diferentes combinaciones.

Después de consultar las gráficas de Scatter Plot, para cada una de las combinaciones de las bandas, se procedió a analizar el coeficiente de correlación de cada una de ellas.



**Figura 7.** Combinación de Bandas 5-4-3, para la imagen Landsat, seleccionada para el estudio.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Con la anterior información se determinó que la mejor combinación de bandas para utilizar en la clasificación es la combinación 5,4,3 que posee la menor correlación entre sus bandas.



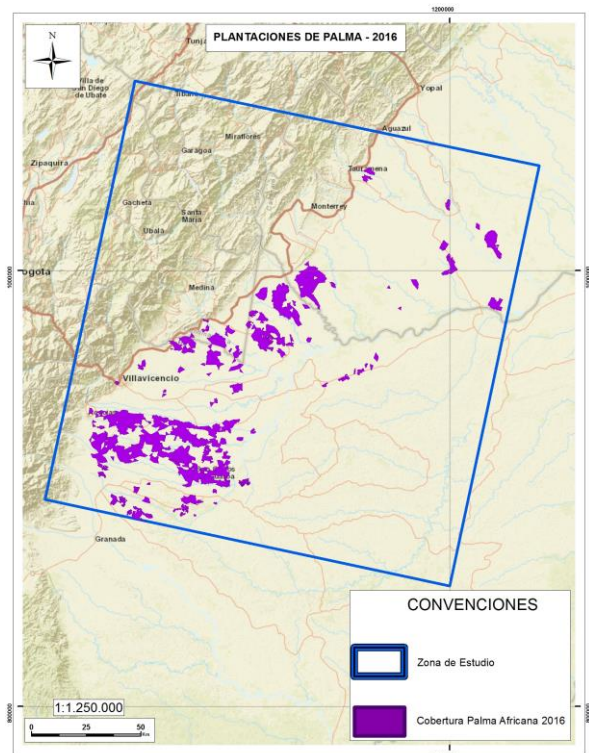
**Figura 8.** Resultado de la clasificación supervisada.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Posteriormente se utilizó la clasificación supervisada por el método de clasificación de máxima verosimilitud, donde se utilizó la cobertura de Palma

Africana obtenida para el año 2013 y que permitió hacer la selección e muestras para clasificar las zonas con cultivos de Palma Africana. El resultado de la clasificación se observa a continuación.

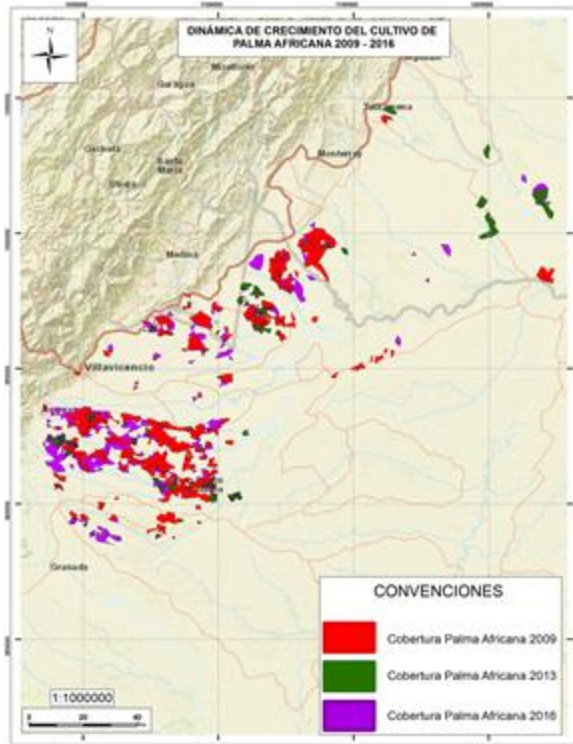
En color rojo se puede apreciar la clase correspondiente a cultivos de palma. El objetivo de la clasificación es determinar las áreas con presencia de cultivos de palma para contrastar posteriormente con las coberturas de los años 2009 y 2013.

Esta clase correspondiente a cultivos de palma, se exportó a formato vectorial para realizar la comparación de áreas con las otras coberturas de palma para años anteriores.



**Figura 9.** Visualización de plantaciones comerciales de Palma Africana para el año de 2013 en la zona de estudio.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Como el proceso de clasificación supervisada da como resultado micro polígono que en ocasiones generan



**Figura 10.** Dinámica de crecimiento del cultivo de Palma Africana en el período 2009 – 2016.

**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, la imagen 10, se observa el resultado final de la cobertura correspondiente a cultivos de Palma Africana para el transcurso de los años 2009 y 2016. Allí se muestra en tres colores diferentes las áreas de expansión del cultivo de Palma Africana a través del tiempo.

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Después de la obtención de cada una de las coberturas de palma africana correspondientes a los años 2009, 2013 y 2016, se procedió a evaluar el área ocupada para cada una de las coberturas.

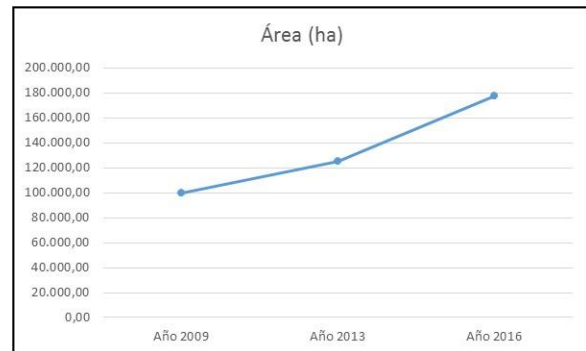
El resultado de los cálculos del área ocupada por los cultivos de Palma Africana, muestran que a través de los años se ha ido incrementando el área sembrada en la zona de estudio.

**Tabla 3.** Áreas de las coberturas de Palma Africana.

Cobertura Palma Africana	Área (ha)
Año 2009	99.720,33
Año 2013	124.992,45
Año 2016	177.417,89

**Fuente:** Elaboración propia.

Este crecimiento en área se ha dado de la mano de la pérdida de algunas coberturas naturales de la zona de estudio. A partir de la información vectorial del IGAC, se realizó un contraste con estas coberturas naturales y las áreas de expansión del cultivo de Palma Africana.



**Figura 10.** Incremento del área establecida en Palma Africana en la zona de estudio

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 4, se muestra el total del área de expansión del cultivo en el transcurso de 4 años, desde el año 2009 hasta el año 2013. El total de expansión corresponde a un área de 25.272,12 hectáreas. Este dato resulta ser confiable, ya que la fuente de origen es directamente de la Federación de Palmeros, FEDEPALMA.

Las coberturas vegetales que han sido afectadas se muestran en la tabla y se han destacado con un rango de colores para observar fácilmente el nivel de afectación que tuvo cada una de ellas. DE esta forma, el color rojo simboliza coberturas presentaron mayor

afectación, pasando por color amarillo, con una afectación media y colores verde para las coberturas con menor afectación.

**Tabla 4.** Coberturas afectadas por expansión de Palma Africana para el período 2009 – 2013.

COBERTURA	AÑO 2009 - 2013	
	AREA_HA	%
Pastos limpios	10.076,89	39,87
Herbazal denso inundable	7.749,23	30,66
Mosaico de pastos y cultivos	1.430,67	5,66
Bosque de galería y ripario	1.386,95	5,49
Arroz	1.338,22	5,30
Herbazal denso de tierra firme	759,32	3,00
Pastos enmalezados	738,95	2,92
Mosaico de pastos con espacios naturales	405,69	1,61
Bosque denso alto de tierra firme	276,27	1,09
Bosque fragmentado	274,36	1,09
Zonas Pantanosas	260,76	1,03
Vegetación secundaria o en transición	239,72	0,95
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	133,80	0,53
Ríos (50 m)	118,60	0,47
Bosque denso alto inundable	56,89	0,23
Arbustal denso	9,73	0,04
Mosaico de cultivos con espacios naturales	5,69	0,02
Pastos arbolados	4,95	0,02
Zonas industriales o comerciales	4,56	0,02
Zonas quemadas	0,53	0,00
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,26	0,00
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0,08	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>25.272,12</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

La cobertura de pastos limpios, fue afectada en 738,95 hectáreas, además dentro de todas las coberturas afectadas, los pastos limpios representan el 39,87% del área que la expansión del cultivo de palma ha sufrido a través de estos años.

En segundo nivel de afectación aparece la cobertura de Herbazal denso

inundable, con un 30,66 % de la afectación del total del área de expansión. Seguidamente aparecen varias coberturas que han sido afacetadas y que representan porcentajes bajos de afectación, mostrando la variedad de coberturas naturales que encuentran asociadas a los límites de las plantaciones de palma africana. Junto a los pastos limpios, estas dos coberturas representan el 70,54% del total del área afectada por la expansión del cultivo de Palma Africana.

Como dato importante se pudo establecer que el cultivo de arroz tuvo una afectación en 1.338,22 hectáreas ocupando el quinto lugar de coberturas afectadas, probablemente los dueños de esta área cambiaron el cultivo de arroz, para implementar plantaciones de palma.

Un resultado sobresaliente de este impacto en las coberturas, lo representa la cobertura de ríos, que, si bien muestra un porcentaje bajo, 0,47%, en extensión se afectaron 118,60 hectáreas. Se especifica que la cobertura de ríos corresponde a un área de 50 metros de buffer, es decir, una zona de reserva de 50 metros. La afectación a esta cobertura puede explicarse en esta zona de 50 metros hasta la orilla de los ríos.

Para el contraste de los años 2013 y 2016, se siguió la misma metodología descrita anteriormente. La cobertura del año 2016, es el resultado de la clasificación supervisada de la imagen satelital para el mes de febrero del mismo año.

En la tabla 5, se muestran las coberturas que tuvieron afectación por la expansión del cultivo de palma africana a través de los años 2013 y 2016. Se conservó la misma simbología de colores para representar las coberturas con mayor afectación.

**Tabla 5.** Coberturas afectadas por expansión de Palma Africana para el período 2013 – 2016.

COBERTURA	AÑO 2013 - 2016	
	AREA_HA	%
Pastos limpios	25.007,63	47,70
Bosque de galería y ripario	7.351,97	14,02
Mosaico de pastos y cultivos	4.653,20	8,88
Herbazal denso inundable	3.436,81	6,56
Arroz	3.146,86	6,00
Mosaico de pastos con espacios naturales	2.208,98	4,21
Pastos enmalezados	1.595,08	3,04
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1.250,12	2,38
Bosque denso alto de tierra firme	998,43	1,90
Ríos (50 m)	916,47	1,75
Herbazal denso de tierra firme	734,08	1,40
Vegetación secundaria o en transición	512,61	0,98
Bosque denso alto inundable	143,40	0,27
Bosque fragmentado	85,77	0,16
Mosaico de cultivos con espacios naturales	72,37	0,14
Pastos arbolados	61,70	0,12
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	56,85	0,11
Zonas Pantanosas	51,62	0,10
Zonas quemadas	45,86	0,09
Arbustal denso	41,30	0,08
Zonas industriales o comerciales	24,89	0,05
Tejido urbano continuo	17,25	0,03
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	9,58	0,02
Zonas arenosas naturales	1,53	0,00
Otros cultivos transitorios	1,08	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>52.425,45</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

En total, las áreas con cultivos de palma se incrementaron en 52.425,45 hectáreas con respecto a la información del año 2013.

Al igual que en el análisis anterior, la cobertura de pastos limpios resultó ser la cobertura con mayor afectación, con un total de 25.007,63 hectáreas y un porcentaje del 47.7%. Es decir, la mitad

del área afectada por la expansión del cultivo de palma en este lapso de tiempo, correspondió a pastos limpios.

**Tabla 6.** Coberturas afectadas por expansión de Palma Africana para el período 2009 – 2016.

COBERTURA	TOTAL AFECTACIÓN	
	AREA_HA	%
Pastos limpios	35.084,52	45,16
Herbazal denso inundable	11.186,04	14,40
Bosque de galería y ripario	8.738,92	11,25
Mosaico de pastos y cultivos	6.083,87	7,83
Arroz	4.485,08	5,77
Mosaico de pastos con espacios naturales	2.614,68	3,37
Pastos enmalezados	2.334,03	3,00
Herbazal denso de tierra firme	1.493,40	1,92
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1.383,91	1,78
Bosque denso alto de tierra firme	1.274,70	1,64
Ríos (50 m)	1.035,07	1,33
Vegetación secundaria o en transición	752,34	0,97
Bosque fragmentado	360,13	0,46
Zonas Pantanosas	312,38	0,40
Bosque denso alto inundable	200,29	0,26
Mosaico de cultivos con espacios naturales	78,06	0,10
Pastos arbolados	66,64	0,09
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	56,93	0,07
Arbustal denso	51,03	0,07
Zonas quemadas	46,40	0,06
Zonas industriales o comerciales	29,45	0,04
Tejido urbano continuo	17,25	0,02
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	9,58	0,01
Zonas arenosas naturales	1,53	0,00
Otros cultivos transitorios	1,08	0,00
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,26	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>77.697,57</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

La cobertura de Bosque de galería y ripario le sigue en segundo lugar con un 14,02% y una afectación en área de 7.351,97 hectáreas. Se presenta para



este lapso de tiempo una correspondencia con la afectación de la cobertura del cultivo de arroz, con lo visto en el período 2009 y 2013. Esta cobertura también ocupa el quinto lugar en afectación.

En la tabla 6, se presenta el total de la afectación que tuvo cada una de las coberturas. En total, en el periodo de 7 años, comprendido entre los años 2009 y 2016, el cultivo de palma africana tuvo un incremento en área de 77.697,57 hectáreas, en el área de estudio.

#### **4. CONCLUSIONES**

Se observó que varias zonas destinadas a otro tipo de cultivos sufrieron un cambio de uso. Cultivos transitorios, especialmente el cultivo de arroz, dieron paso al establecimiento de cultivos de Palma Africana.

Se determinó que la cobertura de pastos limpios fue la más afectada, con un 45,16% del área total de afectación por la expansión del cultivo de Palma Africana. Esta gran cobertura de pastos se utiliza principalmente en ganadería extensiva. Podría inferirse que este renglón de la economía también ha tenido un impacto de reducción de área por el establecimiento de nuevas áreas del cultivo de palma, en la zona de estudio.

También se determinó, que la expansión del área establecida en Palma Africana, afectó varias coberturas naturales como bosques de galería y ripario, herbazales, bosques densos de tierra firme, bosques densos alto inundables, bosques fragmentados y arbustales.

La época del año es importante para la selección de las imágenes satelitales para realizar la clasificación. En el caso de estudio, la época del año

seleccionada correspondía la de época seca en la zona de estudio. Esto permitió obtener una imagen de excelente calidad. Inicialmente se había propuesto una cobertura nubosa menor al 10% y gracias a la época del año seleccionada, se pudo contar con una imagen que presentó un valor de 1,81 % de cobertura nubosa. Esta característica permitió desarrollar óptimamente la clasificación supervisada.

Es necesario realizar investigaciones y estudios sobre el impacto que tiene la expansión del cultivo de Palma africana sobre los espacios naturales y las fuentes hídricas. En este estudio se observó que la cobertura de ríos (50m) fue afectada en 1.035,07 hectáreas. La imagen de satélite Landsat ofrece una resolución media y es recomendable para estudios similares o más específicos, utilizar como fuente de imagen satelital otras opciones que garanticen una mayor resolución, precisión y mayor confianza en resultados obtenidos.

Como dato particular, se presenta una afectación a la cobertura de Tejido urbano continuo, con un porcentaje del total de afectación de 0,03% y un área de 17,25 hectáreas. Este valor de área afectada no tiene correspondencia en la realidad y se explica por el método de clasificación supervisada que en el momento de correr el algoritmo y con la resolución media de la imagen Landsat, incluyó los píxeles del área urbana como una cobertura de palma africana.

Una situación parecida se evidenció con la cobertura Zonas industriales o comerciales, que presenta una afectación de 24,89 hectáreas. Puede explicarse con el procedimiento realizado con la clasificación de la imagen Landsat.

Adicionalmente, es de vital importancia cotejar en campo los resultados obtenidos para retroalimentar los procesos y ofrecer mayores garantías de los productos entregados.

## REFERENCIAS

- Aguilera, M. (2002). Palma Africana en la Costa Caribe: Un semillero de Empresas Solidarias. En la serie: Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, Centro de Estudios Económicos Regionales, Banco de la República, Cartagena de Indias. pág. 5.

- Cabrera, E., Galindo, G. & Vargas, D. (2011). Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escala Gruesa y Fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 44 p.

- Chuvieco, E. (1998). Fundamentos de Teledetección Espacial,

-Edwards, A. J. (1998). Lesson 3: Radiometric correction of satellite images: when and why radiometric correction is necessary. Recuperado de <http://www.ncl.ac.uk/tcmweb/bilko/module7/lesson3.pdf>.

- Gutiérrez, J. & Jegat, H. (2005). Uso de la teoría de lógica difusa en la clasificación de imágenes satelitales con coberturas mixtas: El caso urbano e Mérida, Venezuela. INCI [online]. Vol.30, n.5, pp. 261-266. ISSN

- Kruse, F.A. (2004). Comparison of ATREM, ACORN, and FLAASH atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS.

- López-Duque, A. & Botero-Fernández, V. (2014). Estimación de conflictos de uso de la tierra por la dinámica de cultivo de Palma africana usando sensores remotos en el Cesar, Colombia. DYNA 81 (186), pp. 65-72.

- Mingorance, F., Minelli, F. & Le Du, H. (2004). El cultivo de la Palma Africana en el Chocó. Legalidad ambiental, territorial y Derechos Humanos. Human Rights Everywhere. Diócesis de Quibdó.

- Polanco, J. (2012) Teledetección de la vegetación del Páramo de Belmira con imágenes Landsat. DYNA, Vol. 79, Núm. 171.

- Posada, E. (2012). Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011. Instituto Geográfico Agustín Codazzi,

- Ramírez, C. (2014). Adaptación de la metodología de cálculo de huella ecológica para los cultivos de palma africana usando sistemas de información geográfica: estudio de caso Puerto Wilches Santander. Colombia Forestal Vol. 17(1) 60 - 76 / enero - junio, 2014.

- Rodríguez, A. 2011. Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta. Tesis, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Agronómica. Bogotá D.C., Colombia.