



**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CULTIVO DE BANANO DURANTE EL
PERIODO 2000-2023, EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA, MAGDALENA**

DUVAN JOSÉ CORTINA RAMOS

Código 11792312756

MAICOL MEDINA PARRA

Código 1026294510

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CULTIVO DE BANANO DURANTE EL
PERIODO 2000-2023, EN EL MUNICIPIO DE ZONA BANANERA, MAGDALENA**

DUVAN JOSÉ CORTINA RAMOS

MAICOL MEDINA PARRA

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Andrés Felipe Carvajal Vanegas, Dr.

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

Tabla de contenido

1. Introducción	7
2. Objetivos	9
2.1 Objetivo general.....	9
2.2 Objetivos específicos	9
3. Marco Teórico y Estado del Conocimiento.....	9
3.1 Teledetección	9
3.2 Clasificación supervisada	10
3.3 Programa Landsat	13
3.6 Referencias de estudios nacionales.....	15
3.7 Referencias de estudios internacionales.....	16
4. Metodología	17
4.1 Área de estudio	17
4.2 Metodología general del proyecto	19
4.3 Adquisición de imágenes	20
4.3.1 Adquisición Imagen año 2000.....	21
4.3.2 Adquisición de imágenes año 2015 y 2023.....	22
4.4 Preprocesamiento de las imágenes	22
4.4.1 Preprocesamiento de las imágenes.....	22
4.4.2 Recorte de la imagen con el área de estudio	23
4.4.3 Reescalamiento de las imágenes	24
4.4.4 Pan sharpen	25
4.4.5 Clasificación supervisada.....	26
5. Resultados	29
5.1 Composición de Bandas.....	29
5.2 Clasificación Supervisada.....	30
5.3 Identificación de las áreas cultivadas con banano	32
6. Conclusiones	39
7. Referencias bibliográficas.....	42

Tabla de figuras

Figura 1. Mapa de Localización.....	18
Figura 2. Esquema Metodológico.....	20
Figura 3. Plataforma de adquisición de las imágenes.....	21
Figura 4. Imágenes Landsat 5 Nivel 2 área de estudio.....	22
Figura 5. Herramienta Extract By Mask.....	23
Figura 6. Herramienta Export Raster.....	24
Figura 7. Herramienta Reproject – Erdas.....	25
Figura 8. Herramienta Resolution Merge.....	26
Figura 9. Herramienta Signature Edition.....	27
Figura 10. Muestras de entrenamiento para el clasificador en la zona de estudio.....	28
Figura 11. Puntos de control.....	29
Figura 12. Imágenes con la composición de Bandas.....	30
Figura 13. Resultado Clasificación supervisada.....	31
Figura 14. Mapa de cultivos de banano zona de estudio año 2000.....	34
Figura 15. Mapa de cultivos de banano zona de estudio año 2015.....	35
Figura 16. Mapa de cultivos de banano zona de estudio año 2023.....	36
Figura 17. Mapa de Ganancia, Pérdida y Permanencia del Cultivo de Banano en el periodo 2000 – 2015.....	38
Figura 18. Mapa de Ganancia, Pérdida y Permanencia del Cultivo de Banano en el periodo 2015 – 2023.....	39

Tablas

Tabla 1. Corregimientos del municipio de Zona Bananera.....	18
Tabla 2. Informe Kappa de la clasificación de imágenes.....	32
Tabla 3. Cobertura y uso del suelo del municipio Zona Bananera en el año 2000.....	32
Tabla 4. Hectáreas permanencia, perdida y ganancia de cultivo de banano entre los años 2000 y 2015, 2015 y 20203.....	37

Resumen

Teniendo en cuenta los problemas asociados a los monocultivos como la pérdida de biodiversidad, agotamiento de nutrientes en el suelo, desafíos hídricos, impactos ambientales generados por el uso de agroquímicos y pesticidas, desplazamiento de comunidades, afectación a la seguridad alimentaria y alteraciones en los ecosistemas. El presente documento pretende analizar temporalmente el comportamiento del cultivo de banano en el municipio de Zona Bananera, Magdalena en el periodo comprendido entre el año 2000 y 2023.

Para ello se emplearon imágenes del programa Landsat las cuales son de acceso gratuito, que se puede encontrar en el portal USGS Earth Explorer, y por medio de los softwares ArcGIS Pro y Erdas Imagine se realizaron procesos como reescalamiento, reproyección y un pan sharpen con el fin de mejorar la resolución espacial y radiométrica, con ello mejorar la calidad de la imagen para finalmente realizar una clasificación supervisada.

Como resultados se obtuvieron que para el año 2000 los cultivos de banano ocupaban una extensión de 9148,76 hectáreas lo que corresponde a 20,49% de la extensión total del municipio. Para el año 2015 se logró identificar una ganancia neta de tan solo 858,74 hectáreas, mientras que para el año 2023 en comparación con el año anterior analizado, se identificó una ganancia de 3664,87 hectáreas.

Palabras clave: Clasificación, supervisada, pan sharpen, monocultivos, imágenes, satelitales, cobertura, landsat, sensores.

Abstract

Taking into account the problems associated with monocultures such as the loss of biodiversity, depletion of nutrients in the soil, water challenges, environmental impacts generated by the use of agrochemicals and pesticides, displacement of communities, impact on food security and alterations in ecosystems . This document aims to temporally analyze the behavior of banana cultivation in the municipality of Zona Bananera, Magdalena in the period between 2000 and 2023.

For this, images from the Landsat program were used, which are free to access, which can be found on the USGS Earth Explorer portal, and through the Arcgis Pro and Erdas imagine software, processes such as rescaling, reprojection and a pan sharpen were carried out in order to to improve the spatial and radiometric resolution and thereby improve the image quality to finally perform a supervised classification.

As results, it was obtained that by the year 2000, banana crops occupied an area of 9148.76 hectares, which corresponds to 20.49% of the total area of the municipality. For the year 2015, a net gain of only 858.74 hectares was identified, while for the year 2023, compared to the previous year analyzed, a gain of 3664.87 hectares was identified.

Keywords: Classification, supervised, pan sharpen, monocultures, images, satellite, coverage, landsat, sensors.

1. Introducción

La percepción remota es una herramienta digital importante en los estudios ambientales, la cual, suministra información espacial en el tiempo de diferentes variables en la superficie de la tierra. Los sistemas de información geográfica a través de la percepción remota permiten realizar estudios de coberturas y uso de suelos en el área seleccionada. Este estudio está enfocado en el municipio de Zona Bananera, el cual, pertenece al departamento del Magdalena, es conocido en Colombia por su principal rol en la producción del banano, este cultivo es la fuente económica de la gran parte de habitantes de este municipio, por lo tanto, es importante su estudio y los impactos que puede generar tanto ambientales como socioeconómicos. El cultivo de banano es el más grande e importante del departamento con alrededor de 11.250 ha de cultivo y 278.544 Ton de banano con un aproximado de 90% de exportación de toda la producción. (Evaluación Agropecuaria Municipal, MinAgricultura, 2016), información registrada en el Plan de Desarrollo municipal 2020-2023.

Los problemas asociados a la expansión del cultivo de banano en este municipio son múltiples que yacen de la mala práctica del cultivo, los cuales, traen consigo la degradación, sobrecarga y desgaste de productividad del suelo. Los procesos e inserción de plantas modificadas genéticamente requieren condiciones y nutrientes con mayor grado que una planta natural, para sostener estos cultivos se fuerzan más los suelos y las maquinarias. Otro problema no menos importante son las aguas residuales generadas por los procesos que tienen estos cultivos, las cuales, cuentan con altos grados de químicos tóxicos que degradan tanto al suelo como al agua superficial a la cual están siendo vertidas.

Los cambios de uso de cobertura y capa vegetal del suelo hacen parte de los impactos generados por la expansión de estos cultivos, transformando el paisaje, siendo afectado el clima del área y se deben determinar cuáles coberturas han sufrido estos cambios con la expansión y en qué temporalidad.

El procesamiento de las imágenes satelitales permitirá analizar el comportamiento del cultivo de banano y la dinámica de los cambios de cobertura que se puedan identificar al pasar los años. En cuanto a la clasificación de coberturas vegetales mediante la percepción remota constituye un elemento importante dentro de los procesos de cambios ambientales en el territorio, el conocer cómo se encuentran distribuidas las coberturas permite estimar el potencial de la zona evaluada y hacer uso de ella supliendo las necesidades de la población (Prof. Da Silva, Lic. Insaurralde, & Dr. Cardozo, 2014).

Los análisis multitemporales, son análisis de tipo espacial, que se desarrollan mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos o más imágenes con fecha de toma diferente, lo cual permite estimar los cambios ocurridos en el área de estudio por medio de la clasificación de cobertura realizada (Chuvieco, 1990).

En el desarrollo de esta investigación se utilizará información de sensores remotos del programa Landsat para la elaboración de mosaicos de cobertura para los años 2000, 2015 y 2023, teniendo como zona de estudio el municipio Zona Bananera del departamento del Magdalena, mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta para el procesamiento de la información.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar el cambio multitemporal del cultivo de banano en el municipio de Zona Bananera en el departamento del Magdalena durante el periodo 2000-2023.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las áreas del cultivo de banano para los años 2000, 2015 y 2023 en el municipio de zona Bananera, Magdalena.
- Determinar los cambios que se han presentado en las áreas del cultivo de banano durante el periodo 2000 - 2023 en el municipio de Zona Bananera, Magdalena

3. Marco Teórico y Estado del Conocimiento

3.1 Teledetección

Es también conocida como percepción remota, aquella técnica la cual permite adquirir información sobre objetos, polígonos, puntos o fenómenos en la tierra sin estar en contacto directo con estos (Casal, 2013). Esta técnica se basa en la adquisición y análisis de datos obtenidos a través de sensores ubicados en plataformas aéreas o espaciales, como satélites o aviones. La teledetección se utiliza en múltiples aplicaciones, como la cartografía, la gestión del medio ambiente, la agricultura, la silvicultura y la monitorización de desastres naturales (Noca, 1982) .A continuación, se enumeran algunas de las ventajas más destacadas de esta técnica:

- Cobertura de grandes áreas: La información recopilada a través de la teledetección cubre grandes áreas, lo que permite obtener series temporales y realizar análisis a gran escala en áreas donde las cuales tienen características disímiles (Bognanni, 2010). Esto es especialmente útil en la monitorización de fenómenos naturales, cambios en el uso del suelo y seguimiento de cultivos.
- No depende de la cobertura nubosa: A diferencia de los sensores ópticos, los sensores de teledetección radar son independientes de las condiciones de la cobertura nubosa para la obtención de imágenes, esto permite realizar clasificaciones multifacéticas y activas en el periodo de un año agrícola completo, incluso representando rotaciones de varios cultivos en un año (Larrañaga, 2016)
- Información no invasiva: La teledetección es una técnica no invasiva, lo que significa que no requiere la intervención directa en el objeto o área de estudio. Es especialmente útil para estudiar áreas inaccesibles, como zonas remotas, regiones montañosas o áreas con conflictos políticos. Esto proporciona información valiosa sobre estos lugares, que de otra manera sería difícil de obtener. (Casal, 2013).
- Resolución espacial y temporal adecuada: Los sensores de teledetección ofrecen una resolución espacial y temporal adecuada para diferentes aplicaciones, como la monitorización de cultivos, la detección de cambios en el uso del suelo y el seguimiento de fenómenos naturales. Esto permite obtener datos detallados y actualizados sobre el objeto o área de estudio (Larrañaga, 2016).

3.2 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada es un método utilizado en el campo de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el cual se procede a asignar etiquetas a los píxeles que tiene una imagen satelital o de sensores remotos en función de las características espectrales de los objetos presentes en la escena (Poveda-Sotelo et al., 2022). Este método se basa principalmente en el uso de algoritmos de aprendizaje automático como: Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Bosques Aleatorios (RF), Árboles de Decisión (DT), entre otros, con el fin de entrenar el clasificador a partir de los datos de entrenamiento los cuales han sido etiquetados previamente y a partir de estos realizar la clasificación (Murillo Castañera R. A, 2018).

La precisión de la clasificación supervisada puede variar según la calidad de los datos de entrada, la selección de las muestras de entrenamiento y la elección del algoritmo de clasificación. En general, se considera una técnica efectiva y eficiente para el análisis de imágenes de teledetección, ya que permite obtener información detallada sobre la distribución y la composición de los objetos en la escena, sin la necesidad de realizar un muestreo de campo extenso (Nenmaoui et al., 2017)

La clasificación supervisada cuenta con ventajas importantes en comparación con métodos distintos de clasificación. Algunas de estas ventajas incluyen:

- Mayor precisión: La clasificación supervisada permite obtener resultados más precisos en comparación con otros métodos de clasificación, como la clasificación no supervisada (Fragoso-Campón et al., 2020). Esto se debe a que se utilice información de referencia conocida, lo que ayuda a mejorar la precisión de la clasificación (Sanchez-Galan et al., 2019).

- Capacidad para trabajar con datos multiespectrales: La teledetección utiliza imágenes satelitales que capturan información en diferentes bandas espectrales. La clasificación supervisada es capaz de aprovechar esta información multiespectral para mejorar la precisión de la clasificación (Sanchez-Galan et al., 2019)
- Flexibilidad en la selección de clases: En la clasificación supervisada, el usuario puede seleccionar las clases de interés y proporcionar ejemplos de cada clase. Esto permite una mayor flexibilidad en la definición de las clases y puede adaptarse a diferentes aplicaciones (Sanchez-Galan et al., 2019).

Las principales limitaciones de la clasificación supervisada son:

- Dificultad para manejar datos no lineales o de alta dimensionalidad: Algunos algoritmos de clasificación supervisada, como el clasificador lineal de regresión logística, pueden tener dificultades para manejar conjuntos de datos no lineales o de alta dimensionalidad. En estos casos, puede ser necesario utilizar algoritmos más avanzados, como máquinas de vectores de soporte o bosques aleatorios, para obtener resultados precisos (Poveda-Sotelo et al., 2022)
- Dependencia de firmas espectrales representativas: La clasificación supervisada requiere firmas espectrales representativas de las clases de interés. Sin firmas específicas adecuadas, la precisión de la clasificación puede verse comprometida (Sanchez-Galan et al., 2019)
- Sensibilidad a la calidad de los datos: La calidad de los datos de teledetección, como la resolución espacial y espectral, puede afectar la precisión de la clasificación supervisada. Si los datos no son lo suficientemente detallados, la clasificación puede ser menos precisa (Fragoso-Campón et al., 2020)

- Dificultad para clasificar clases similares: La clasificación supervisada puede tener dificultades para distinguir clases que tienen firmas espectrales similares. Esto puede ser un desafío en áreas con coberturas de tierra complejas o en estudios que requieren la identificación de clases específicas (Fragoso-Campón et al., 2020).
- Limitaciones en la detección de cambios: La clasificación supervisada puede tener dificultades para detectar cambios en las coberturas de tierra a lo largo del tiempo, ya que se basa en firmas específicas. Esto puede ser un desafío en estudios de monitoreo a largo plazo o en áreas con cambios rápidos en el uso del suelo (Camas Guardamino & Mamani Sinche, 2022)

3.3 Programa Landsat

El programa Landsat es una serie de satélites con los cuales se realiza observación de la Tierra que han sido utilizados para una variedad de aplicaciones, incluyendo la cartografía, hidrología y la detección de cambios en la superficie terrestre a lo largo del tiempo. Este programa se puede considerar la misión más larga de resolución intermedia que se ha encargado de registrar en el tiempo los cambios presentados en la superficie terrestre, actualmente se encuentra en su novena misión continuando con el legado de los archivos digitales anteriores (Reyes Mendoza, 2023).

El programa Landsat es una iniciativa de observación de la Tierra exitosa y de larga data que ha estado recopilando datos desde el lanzamiento del Landsat 1 en 1972. El programa ha evolucionado al pasar los años de acuerdo a las necesidades y objetivos requeridos, con elementos críticos implementados para garantizar la continuidad de mediciones de alta calidad para investigaciones científicas y operativas, una de las fortalezas

clave del programa Landsat es su compromiso con el acceso gratuito y abierto a imágenes nuevas y de archivo lo que ha dado lugar a múltiples aplicaciones innovadoras y conocimientos científicos novedosos (Wulder et al., 2019).

En la actualidad, y con los avances tecnológicos que se han presenciado en los últimos años, la teledetección se ha transformado en una herramienta importante ya que permite recopilar datos de manera periódica, detallada y a distancia con alto grado de exactitud mediante tecnologías como drones, satélites, aviones entre otra serie de dispositivos. Teniendo en cuenta lo anterior y como lo mencionan Poso y Paananen, 1984; Wulder 1998; Wynne et al., 2000 el uso de los sensores remotos de teledetección, que producen imágenes satelitales en el tiempo, se establece como un método de bajo presupuesto y permiten estudiar áreas con grandes extensiones o áreas remotas de difícil acceso (De León Mata et al., 2014).

Algunas de las características que hacen a este sensor clave son:

- Resolución espectral: El sensor Landsat captura imágenes en diferentes longitudes de onda, lo que permite analizar la reflectancia de la superficie terrestre en diferentes bandas espectrales, esto es bastante útil para la identificación de características específicas, como la vegetación, el agua y las áreas urbanas (Zanetti et al., 2015).
- Resolución espacial: El sensor Landsat puede capturar imágenes con una resolución espacial de 30 metros, el cual significa que cada uno de los píxeles en la imagen representa un área de 30 metros por 30 metros en la superficie terrestre. Una mayor

resolución espacial permite una mayor precisión en la identificación y el análisis de características terrestres (de Almeida et al., 2014)

- Resolución radiométrica: El sensor Landsat tiene una resolución radiométrica de 8 bits, lo que significa que puede representar hasta 256 niveles de gris en cada banda espectral. Una mayor resolución radiométrica permite una mayor precisión en la medición de la reflectancia de la superficie terrestre (Zanetti et al., 2015).

3.6 Referencias de estudios nacionales

Gutiérrez Triana V, (2020) realizó un estudio en el cual, por medio de imágenes satelitales, analizó los cambios que se presentaron en la cobertura vegetal en el municipio del Espinal. En esta investigación se analizaron dos imágenes una que corresponde al año 2000 y del año 2019 dando como resultado que los cultivos permanentes y los pastos tienen un aumento considerable mientras que las extensiones de terreno natural al igual que los cultivos transitorios disminuyeron. Para el desarrollo de este proyecto se apoyaron en la metodología Corine Land Cover e información suministrada por fuentes oficiales como el SIAC, el IGAC e inclusive la que registra el EOT del municipio.

Por otra parte, Rojas & Castiblanco Rozo, (2018) realizaron un análisis multitemporal para determinar los cambios que se han presentado en el uso de suelo durante los años 1985, 2000 y 2016 San Carlos de Guaroa municipio de Meta. Se lograron identificar tres tipos de coberturas de suelo las cuales son: cultivo de palma de aceite, bosques de galería y suelo que tiene como uso agropecuario y como resultado obtuvieron que las áreas de bosques de galería que desaparecieron en gran parte fueron sustituidas por cultivo de palma de aceite.

Muñoz et al., (2009) analizaron los cambios que se presentaron entre los años 1989 y 2008 en la microcuenca las Minas ubicada en la vereda Alto Pedro que pertenece al corregimiento de La Laguna en el municipio de Pasto. En esta investigación implementaron la metodología propuesta por Chuvieco en el año 2002 en la cual realizaron un análisis multitemporal por medio de una clasificación no supervisada y esta sería complementada con una clasificación supervisada. Los resultados que obtuvieron determinaron que anualmente se pierde un aproximado de 3 hectáreas de bosque nativo y/o secundario, y los aumentos más considerables en la cobertura de suelo corresponde con el año 2008 donde los cultivos aumentaron su extensión en 28 hectáreas mientras que los suelos donde se siembran pastos aumentaron 142 hectáreas.

3.7 Referencias de estudios internacionales

Beltrán Gracia & de la Riva Fernández, (2017) realizaron un trabajo cuyo objetivo era estimar los impactos generados por la sequía y la guerra de la agricultura en la ciudad de Aleppo, Siria mediante imágenes Landsat, para ello recopilamos imágenes desde el año 2000 al 2016 en las estaciones de primavera y verano. En cuanto a los resultados encontramos que la caída de la producción agrícola no presenta igualdad en el área de estudio, hacia el sur los suelos destinados a la producción agrícola han descendido considerablemente mientras que al norte de la ciudad se puede observar el aumento de cultivos estratégicos como el trigo, esto debido acciones políticas utilizando mano de obra económica de una población vecina la cual no tenía acceso a las tierras permitiendo que esta provincia ganara autonomía y así poder mantener esfuerzos para ganar la independencia.

Por otra parte, Villalobos Ramírez, (2020) analizó los cambios de cobertura que se presentaban en el periodo entre el año 2000 y 2019 en el distrito de Pomahuaca - provincia de Jaén - Perú, en esta investigación se utilizó imágenes Landsat 5TM, Landsat 8OLI y Sentinel 2. Los resultados obtenidos mediante el análisis y procesamiento de estas imágenes evidencian una pérdida de vegetación herbácea, bosques y cuerpos de agua mientras que se pudo evidenciar un aumento considerable en los cultivos transitorios, áreas sin o con poca vegetación y las áreas urbanizadas.

Ruiz et al., (2013) analizaron los cambios que se presentaban en la cobertura terrestre protegido Miraflores Moropotente (Nicaragua) en los años 1993 y 2011 con el fin de determinar el grado de fragmentación la cobertura, para ello analizaron 3 imágenes Landsat adquiridas en febrero del año 1993, abril del 2000 y enero del año 2011. Además, realizaron una visita a campo para corroborar la información que obtuvieron por medio de las imágenes, los resultados obtenidos determinaron que la degradación de los suelos se debe a las actividades antrópicas donde los suelos que estaban dedicados a la conservación de vegetación pasaron a ser espacios para la agricultura y ganadería ocasionando una perturbación que disminuye los hábitats naturales y genera una fragmentación mayor.

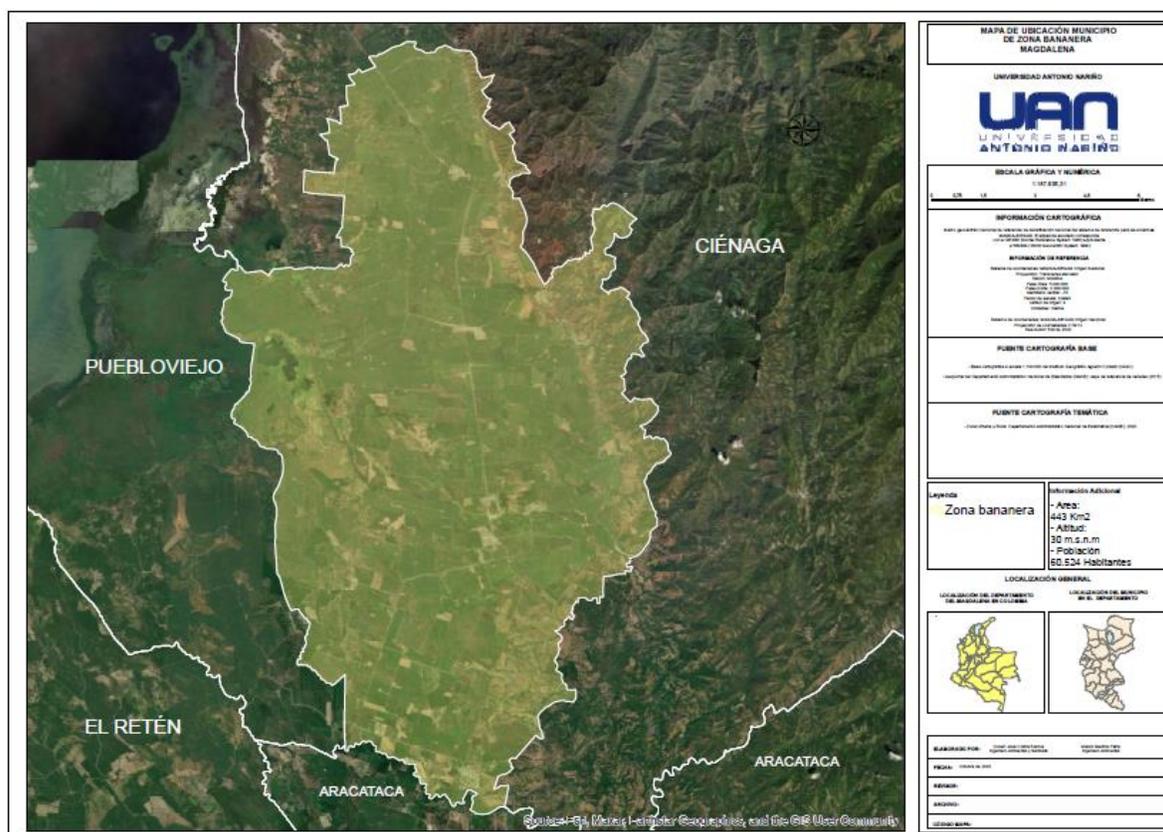
4. Metodología

4.1 Área de estudio

El municipio Zona Bananera está ubicado geográficamente al norte del país, su dimensión territorial es de 433 km², cuenta con una altura promedio de 30 msnm, este municipio pertenece al departamento del Magdalena y se encuentra situado a 87 kilómetros de la capital del departamento (Santa Marta), iniciando en el extremo sur del municipio y su

cabecera municipal (Prado Sevilla) a 40 km. Limita al Norte y Este con Ciénaga municipio del Magdalena, al Sur con el municipio de Aracataca Magdalena y al Oeste con el municipio Puebloviejo Magdalena (Figura 1).

Figura 1.
Mapa de Localización.



Nota. Localización del municipio de Zona Bananera.

Su división político administrativa está definida por 14 corregimientos (Tabla 1).

Tabla 1.
Corregimientos del municipio de Zona Bananera.

CORREGIMIENTOS	
Sevilla	La Gran Vía
Santa Rosalía	Guamanchito
Río Frío	Varela
Palomar	Guacamaval

Tucurinca	Julio Zawady
Orihueca	Candelaria
Soplador	San José de Kennedy

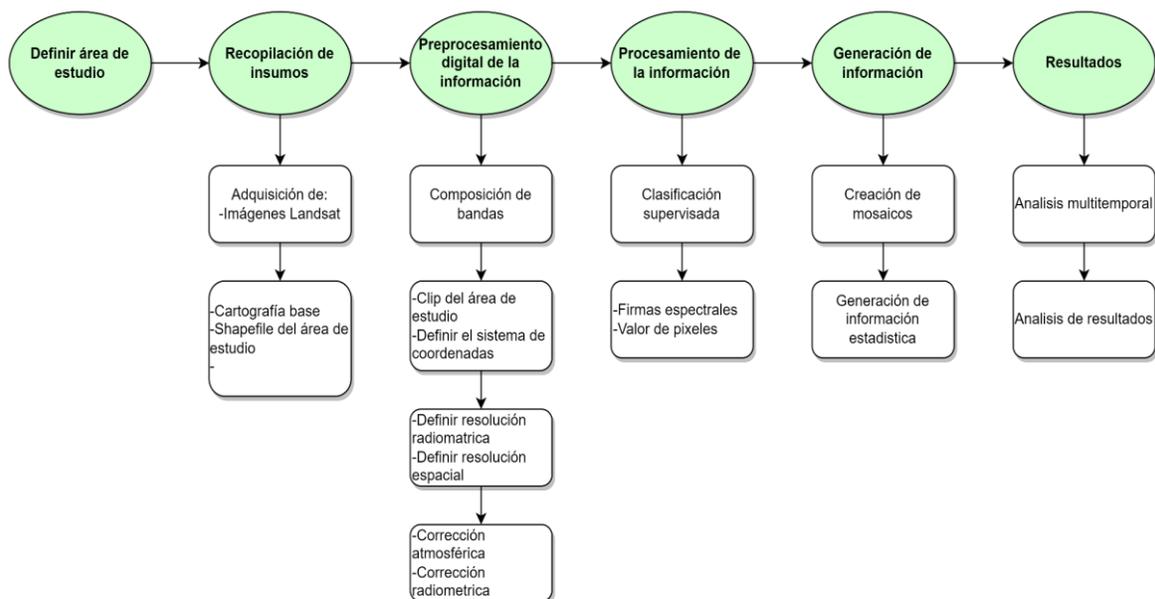
Nota. PBOT municipio de Zona Bananera 2001.

Adicional a ello el municipio cuenta con 56 veredas, las más representativas son: La Concepción, Cuatro Caminos, Los Limones, La Victoria, Caño Mocho, Estación de Sevilla, Santa Rosa, Ciudad Perdida, El Oasis, La Campana, La Bonga, Las Mercedes y Sacramento (Plan Territorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional – PTSAN Municipio de Zona Bananera, Magdalena, 2017- 2020).

4.2 Metodología general del proyecto

Se presenta a continuación el resumen de la metodología del trabajo enfocado a la información base, el procesamiento correspondiente e información de salida o final, las cuales, se utilizarán en el desarrollo del proyecto, se describen procesamientos direccionados al estudio (Figura 2).

Figura 2.
Esquema Metodológico.



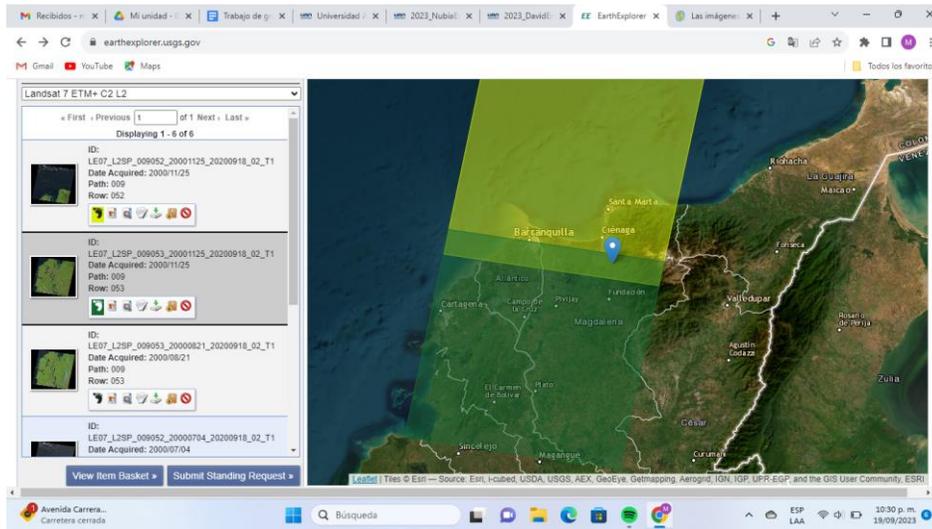
Nota. Metodología del presente estudio.

Para el desarrollo del proyecto se establecieron etapas como guía metodológica necesaria para su ejecución, teniendo en cuenta que el objeto de estudio es un análisis multitemporal. Estos productos digitales necesitan un procesamiento especializado para que cumplan con el objetivo y para esto se requiere emplear software como lo son ArcGIS Pro y Erdas, también se requiere el uso de la plataforma USGS Earth Explorer, los cuales contribuyen al procesamiento requerido de las imágenes y su información para la clasificación e identificación de la expansión agrícola.

4.3 Adquisición de imágenes

Las imágenes satelitales necesarias para el desarrollo de esta investigación fueron descargadas desde la página <https://earthexplorer.usgs.gov/> la cual permite filtrarlas ya sea por conjunto de datos, en este caso Landsat, el nivel de la imagen, ya sea colección nivel 1 la cual no tiene corrección atmosférica o nivel 2 la cual cuenta con la reflectancia a nivel de

Figura 4.
Imágenes Landsat 5 Nivel 2 área de estudio.



Nota. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

4.3.2 Adquisición de imágenes año 2015 y 2023

Para la adquisición de imágenes de estos dos años igualmente se filtró por el rango de fecha y el mismo porcentaje de nubes mencionado anteriormente, pero se tomó las imágenes de la colección Landsat 8 nivel 2 e igualmente se recurrió a la colección Landsat 8 nivel 1 para descargar la información correspondiente a la banda pancromática. En estos años el tamaño de escena del sensor logra captar el área de estudio en su totalidad por consiguiente sólo fue necesario descargar una imagen por año.

4.4 Preprocesamiento de las imágenes

4.4.1 Preprocesamiento de las imágenes

Teniendo en cuenta que la información descargada de la página web viene dividida por bandas, para poder unificarlas se realizó la composición de bandas por medio del Software ArcGIS Pro y la herramienta *Composite Band*. Para el caso de la imagen Landsat 5

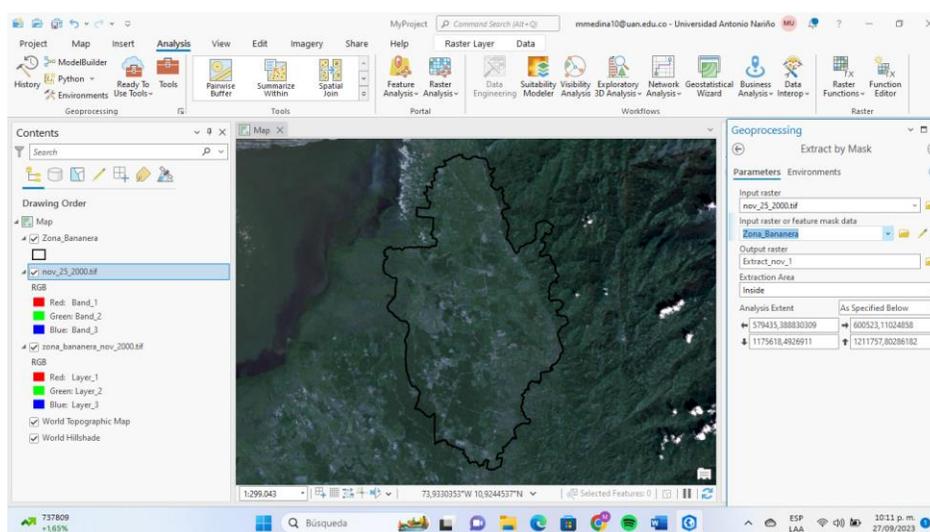
se tuvieron en cuenta las bandas de la 1 a la 7 exceptuando la banda 6, ya que esta corresponde a una banda térmica la cual no es requerida en la presente investigación. Las imágenes resultantes de este proceso fueron unificadas en el mismo software mediante la herramienta *Mosaic to New Raster*.

Para las imágenes Landsat 8 al momento de descargar las imágenes nivel 2 esta no trae consigo la información de la banda 8 que corresponde a la pancromática, por consiguiente, la composición de bandas para estas imágenes se realizó por medio de las bandas de la 1 a la 7 y la banda 9.

4.4.2 Recorte de la imagen con el área de estudio

Por medio de la herramienta *Extract by Mask* del software ArcGIS Pro se recortó cada una de las imágenes obtenidas de los procesos anteriormente mencionados con el fin de obtener el área de estudio final, esta herramienta permite por medio de un área definida, en este caso el Shapefile del municipio, extraer la información de la capa ráster (Figura 5).

Figura 5.
Herramienta Extract By Mask.

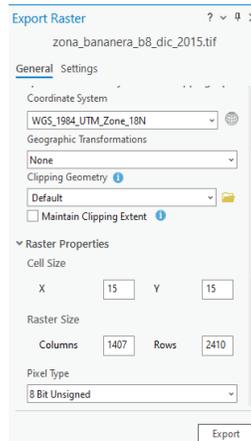


Nota. Recorte del área de estudio con las imágenes adquiridas.

4.4.3 Reescalamiento de las imágenes

Las imágenes obtenidas de la composición de bandas cuentan con resolución espacial de 30 metros y con una resolución radiométrica de 16 bits, mientras que las imágenes pancromáticas tienen 15 metros en la resolución espacial y una radiométrica de 16 bits, para el desarrollo de este trabajo se realizó un escalamiento a cada imagen multiespectral en la cual se llevará la resolución espacial a 15 metros y la espectral a 8 bits. Para poder llevar a cabo el proceso del reescalamiento de la resolución radiométrica se utilizó *Export Raster* del software ArcGIS Pro en donde la herramienta *Pixel Type* lo convertirá a *8 bit Unsigned*, este proceso se realizó tanto para las imágenes pancromáticas como para las obtenidas de la composición de bandas (Figura 6).

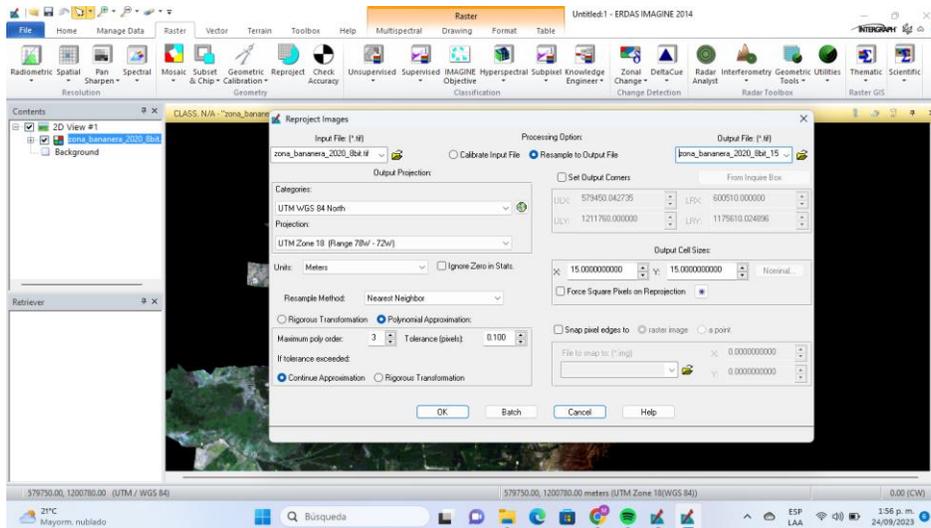
Figura 6.
Herramienta Export Raster.



Nota. Herramienta de ArcGis Pro para exportar ráster con reescalamiento de resolución radiométrica.

Para generar el reescalamiento de la resolución espacial, a cada imagen multiespectral, se utilizó la herramienta *Reproject* que se encuentra en la sección *Spatial* del menú de *Raster* del software Erdas Imagine (Figura 7).

Figura 7.
Herramienta Reproject – Erdas.

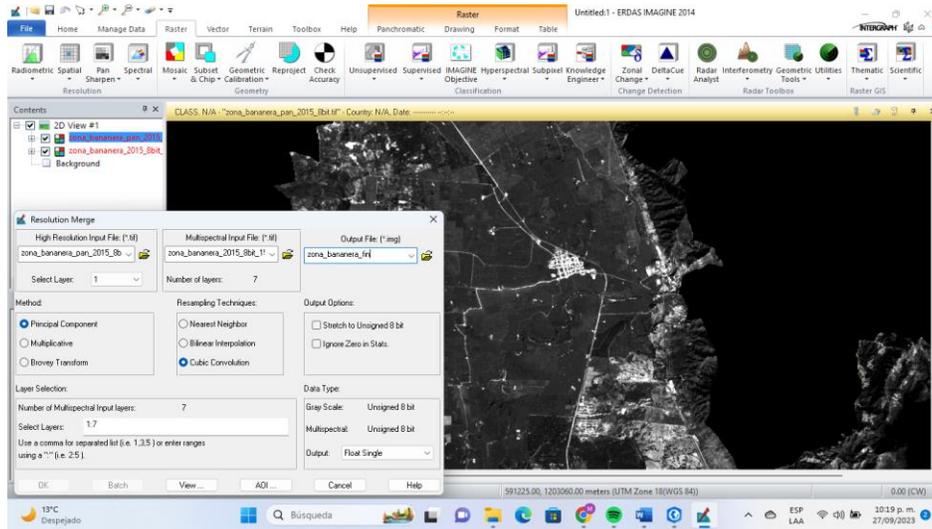


Nota. Herramienta de Erdas Imagine para reescalar la resolución espacial.

4.4.4 Pan sharpen

Con el fin de mejorar la resolución espacial de las imágenes multiespectrales se combinan con las imágenes pancromáticas de alta resolución, por medio de la herramienta *Resolution Merge* que se puede encontrar en la sección *Pan Sharpen* del menú *Raster*, generando una imagen multiespectral de alta resolución (Figura 8).

Figura 8.
Herramienta Resolution Merge.

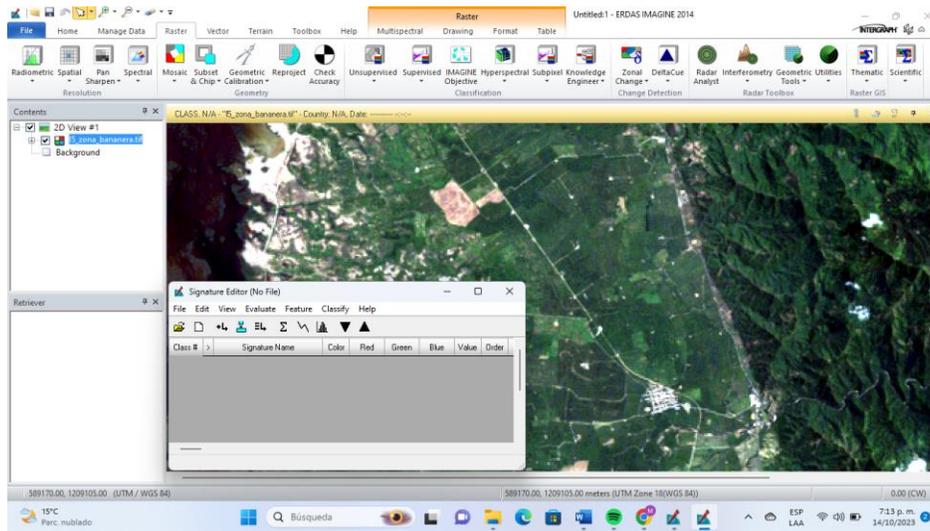


Nota. Herramienta de Erdas Imagine para reescalar.

4.4.5 Clasificación supervisada

Luego de determinar la composición de bandas adecuada se realizó la clasificación supervisada en el software Erdas Imagine, para ello se ingresó a la pestaña **Ráster** y luego la sección de **Supervised** con el fin de abrir la herramienta **Signature Editor**, que es aquella donde se almacenan las coberturas que se fueron identificando. Esta herramienta además de almacenar la muestra para entrenar el clasificador permite agrupar cuando se toman varias muestras del mismo tipo de cobertura. Es recomendable que a la hora de tomar las muestras la cantidad mínima de píxeles sea de 75, además de emplear como mínimo 150 muestras distribuidas en las clases que se identificaron, para tomar las muestras se emplea la herramienta **Drawing** y se selecciona la geometría con la cual se desea tomar la muestra (Figura 9).

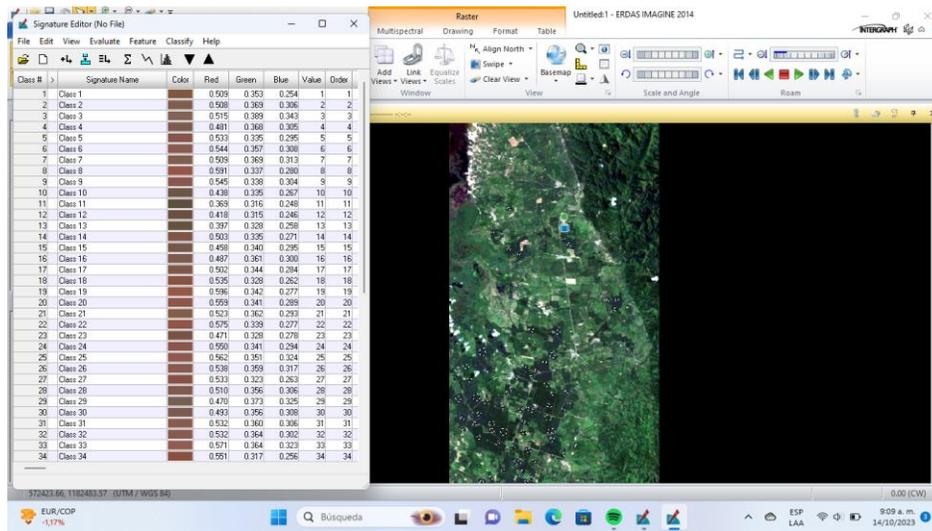
Figura 9.
Herramienta Signature Edition.



Nota. Herramienta de Erdas Imagine para entrenar al clasificador.

Las muestras se almacenan en un archivo *.sig el cual es requerido en la herramienta *Supervised Classification* con el fin de generar el nuevo ráster con base en éstas. Con el fin de determinar si la clasificación fue realizada correctamente se emplea la herramienta *Accuracy Assessment* en la misma sección de *Supervised*, esta herramienta permite generar unos puntos de control al azar tanto en la imagen original como en la clasificada con el fin de realizar una comparación visual y determinar la exactitud (Figura 10).

Figura 10.
Muestras de entrenamiento para el clasificador en la zona de estudio.

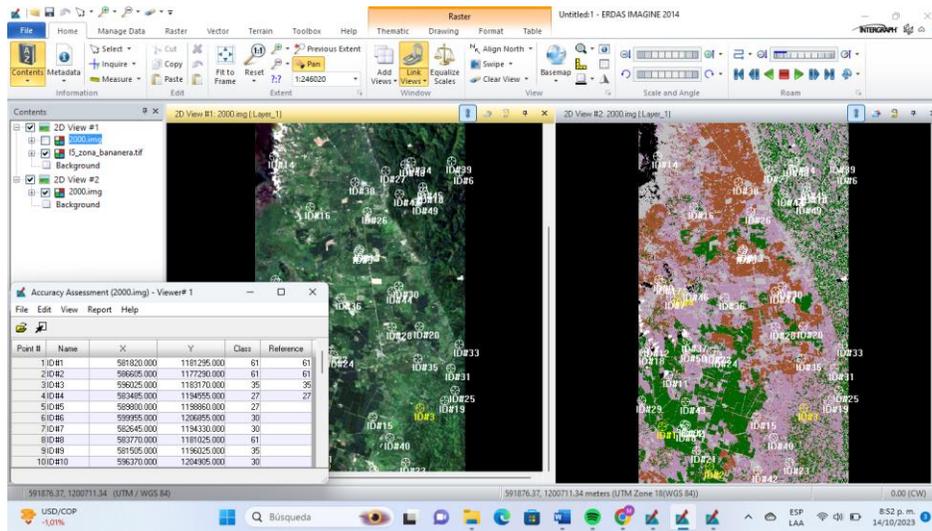


Nota. Herramienta de Erdas Imagine con muestras para la clasificación.

Al finalizar de evaluar cada uno de los puntos de control esta herramienta permite generar un reporte donde contiene unas estadísticas y el índice Kappa el cual para poder considerar una buena clasificación este debe ser superior o igual a 0.75.

Los puntos de control desempeñan un papel importante en la calidad de generación de los resultados, ya que, de este depende el índice Kappa, estos puntos se comparan con la imagen original y visualmente se identifica si esta cumpliendo con la representación de los pixeles y la clase de cobertura asignada. Para ello se genera como mínimo 50 puntos de control con el fin de mejorar la calidad del proceso (Figura11).

Figura 11.
Puntos de control.



Nota. Herramienta de Erdas Imagine para validar la calidad de la clasificación.

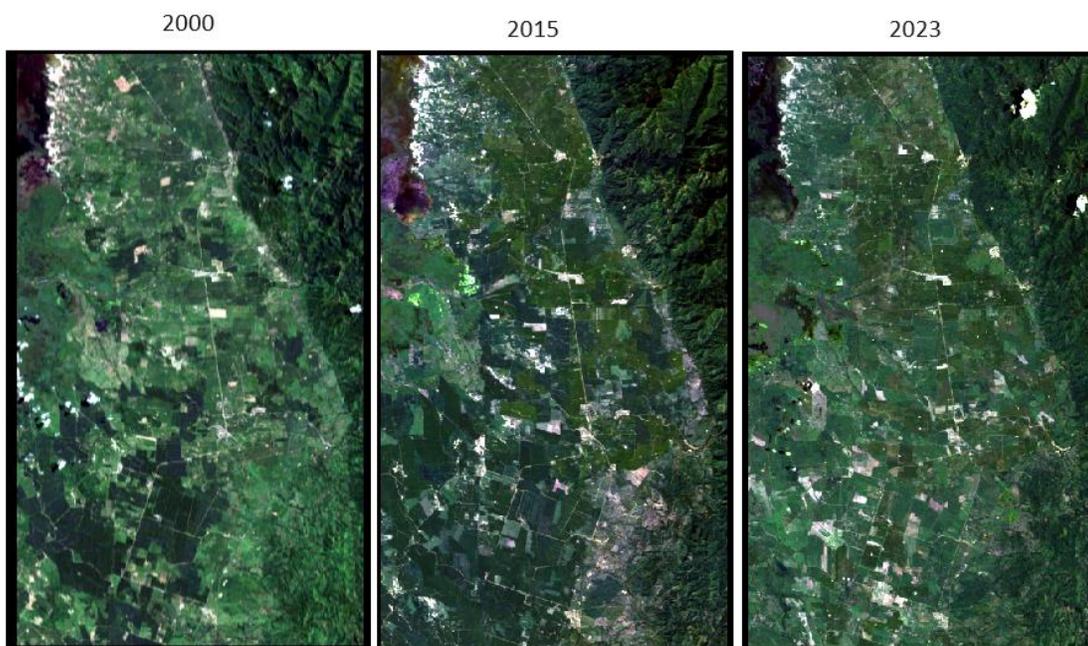
5. Resultados

5.1 Composición de Bandas

Después de ejecutar la herramienta *Composite Band* para las imágenes de los años 2000, 2015 y 2023, se puede observar que el área de estudio se encuentra en su gran mayoría despejada, lo que permite diferenciar de una manera más sencilla las clases de cobertura que se puedan encontrar para así entrenar de una manera más eficiente el clasificador. De manera muy general se puede ver que, en la imagen del año 2000, teniendo en cuenta la composición de bandas 321 que es la que más se asemeja a las tonalidades reales en terreno, los cultivos de palma tienen a tener un verde oscuro mientras que los cultivos de banano tienden a tener una tonalidad un poco más suave. Esto sucede igualmente con las dos imágenes posteriores, pero con la composición de bandas 431. Es importante mencionar que hacia la parte oriental del municipio cuenta con tonos un verde oscuro que posiblemente se puedan confundir con

los cultivos de palma, pero estos corresponden a pastos y/o bosques pertenecientes a la Sierra Nevada de Santa Marta en su gran mayoría (Figura 12).

Figura 12.
Imágenes con la composición de Bandas.



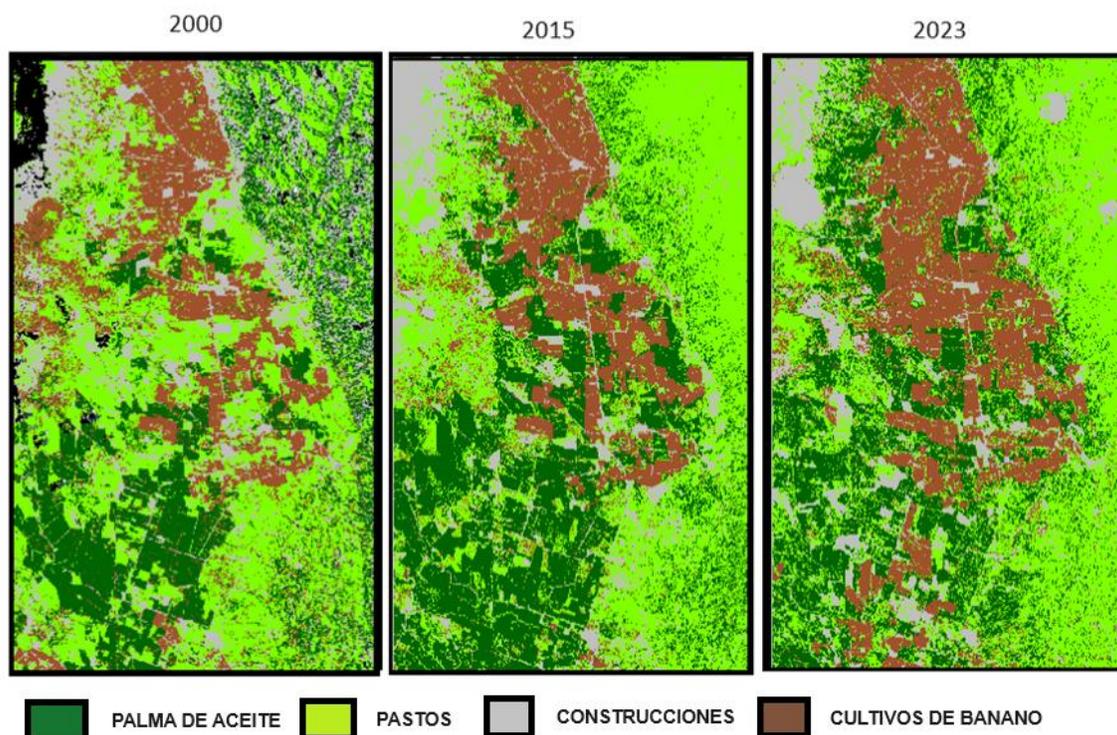
Nota. Resultado del preprocesamiento de las imágenes.

5.2 Clasificación Supervisada

Para llevar a cabo la clasificación se emplearon 4 clases las cuales fueron construcciones y/o suelos desnudos, cultivos de palma, cultivos de banano y pastos. Como se puede observar en los resultados el cultivo de banano es representado de color café mientras que los cultivos de palma se representaron de un tono verde oscuro, el color gris indica construcciones y/o suelos desnudos y el verde con una tonalidad clara representan los pastos. Se evidencia cómo los cultivos de palma se van de cierta manera fragmentando y disminuyendo sus áreas mientras que los cultivos de banano van aumentando y se van

consolidando en la parte central y hacia el norte del municipio mientras que en el sur van ganando área (Figura 13).

Figura 13.
Resultado Clasificación supervisada.



Nota. Resultado del procesamiento de las imágenes con la clasificación supervisada.

En el año 2000 se logra evidenciar como las áreas en donde se encuentran pastos se mezclan con los cultivos de palma y banano además de poder determinar que para este año los cultivos de palma se encontraban principalmente en la parte sur del municipio, ya para el año 2015, se observa cómo las áreas destinadas a los pastos disminuyen mientras que los cultivos de palma y banano van aumentando sus áreas y finalmente para el año 2023 claramente se puede notar cómo se extendió ampliaron las áreas cultivadas de banano, tanto así que gran parte del cultivo de palma fue reemplazado. Se puede notar como toma mayor fuerza este cultivo en la zona norte, centro y con mayor crecimiento en la parte sur.

El índice Kappa es una variable que indica la calidad obtenida de los datos y la información generada (Tabla 2).

Tabla 2.

Informe Kappa de la clasificación de imágenes.

AÑO	KAPPA
2000	0,7978
2015	0,8519
2023	0,7872

Nota. Informe Kappa que valida la calidad, elaborado en Erdas Imagine.

5.3 Identificación de las áreas cultivadas con banano

Estas clasificaciones cuentan con 200 muestras identificadas por cada imagen, se exporta solo el cultivo de banano, las demás clasificaciones fueron descartadas, luego con el fin de realizar un proceso de limpieza y corregir algunos errores que se puedan presentar en la clasificación, fue necesario obviar los polígonos cuya área era inferior a 5 hectáreas. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se unificaron en un solo shapefile los polígonos cuya área era igual o superior a las 5 hectáreas con el fin de determinar las áreas totales del cultivo de banano para los años 2000, 2015 y 2023.

Tomando como referencia el plan básico de ordenamiento territorial del año 2001 del municipio, el cual describe que para el año 2000 la agricultura era la actividad económica que mayor porcentaje de área ocupaba en el municipio como se evidencia (Tabla 3).

Tabla 3.

Cobertura y uso del suelo del municipio Zona Bananera en el año 2000.

COBERTURA Y/O USO	AREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Agricultura	26926	56,13
Ganadería	17999	37,52
Construcciones	407	0,85

Otros (Cuerpos de agua, vías etc)	2639	5,5
Total	47971	100

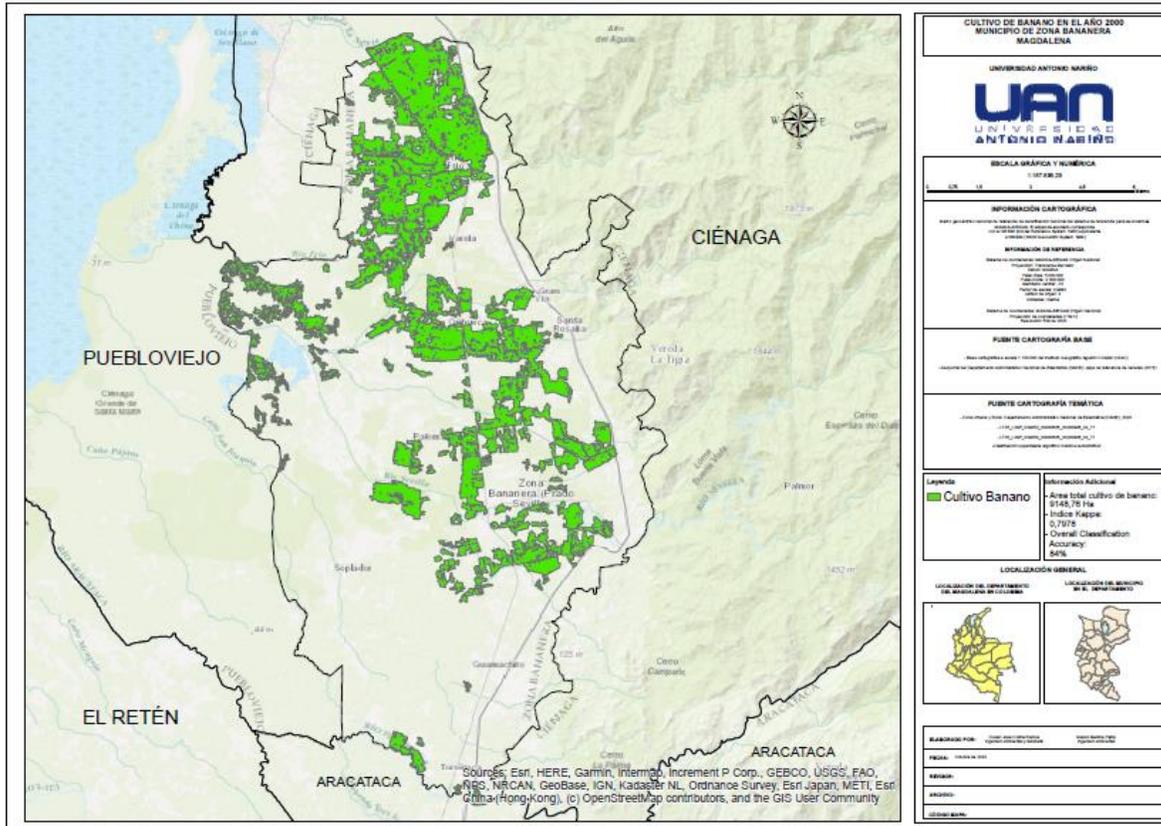
Nota. PBOT del municipio Zona Bananera del año 2001.

Para la economía del departamento resulta fundamental este cultivo, ya que, este genera mano de obra a gran escala y flujo económico importante. En el periodo comprendido en los años de 2002 – 2008 el cultivo de banano generó un incremento del 5.4% en empleos directos en Colombia, de 35 mil a aproximadamente 37 mil empleos por esta actividad (Viloria de la Hoz, 2008).

En el municipio se pueden encontrar cultivos de maíz, arroz, frijol, frutales y yuca, los cuales cuentan con áreas muy reducidas en comparación con los cultivos más representativos de la región, que son la palma africana y el banano. Para el año 2000 se obtuvo que los cultivos de banano tenían una extensión de 9148,76 hectáreas lo que corresponde a 20.49% del área total del municipio, se puede observar que los predios empleados para este tipo de cultivo se encuentran en la parte central y al norte del municipio (Figura 14).

En este periodo los cultivos de banano en el área nacional ocuparon un aproximado de 60.000 ha de las cuales, según los resultados de la clasificación, el 15.24% de las áreas cultivadas se encontraron en la zona de estudio. Para este año Colombia exportó un aproximado de 1.9 millones de toneladas de banano siendo el tercer producto de más importancia después del cultivo de café y las flores (Arias et al., 2004).

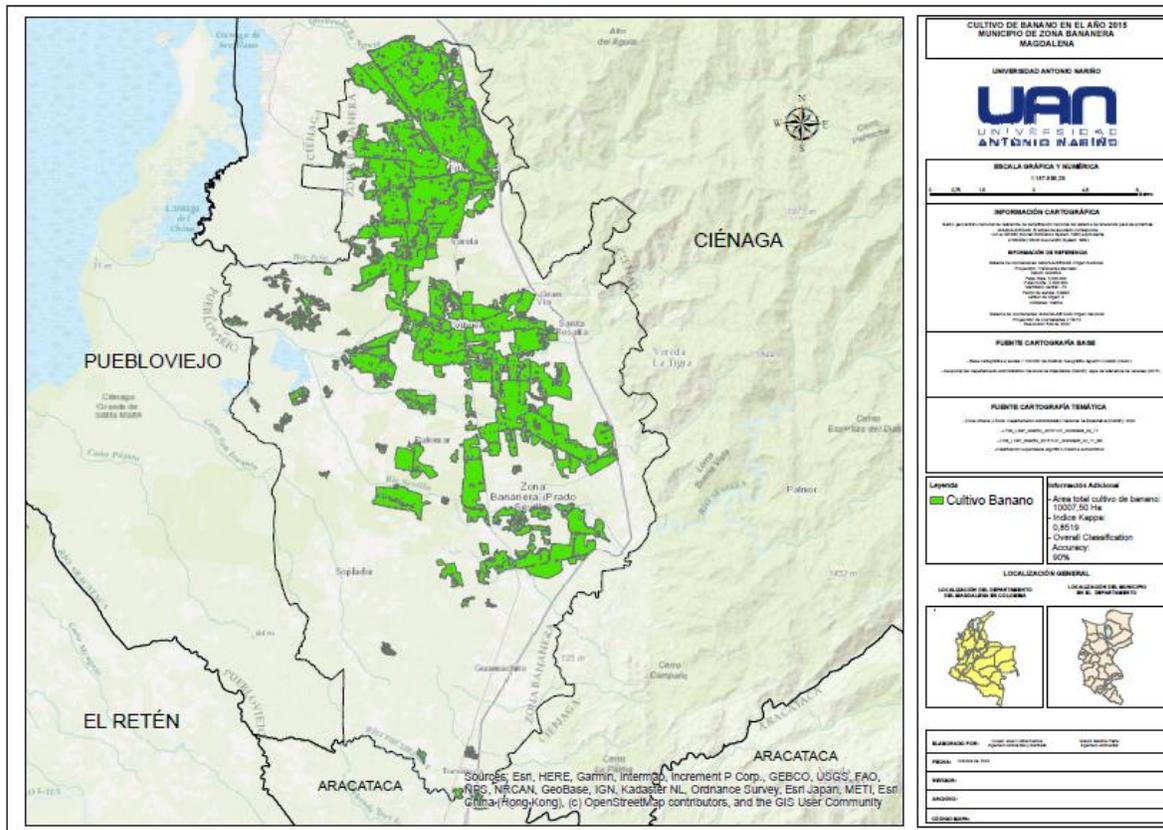
Figura 14.
 Mapa de cultivos de banano zona de estudio año 2000.



Nota. Es un mapa de la zona de estudio con la identificación del cultivo de banano en el año 2000.

Para el año 2015 los cultivos de banano lograron una extensión de 10007,50 hectáreas aproximadamente, lo que corresponde con el 22.41% del área total del municipio, fortaleciendo el cultivo en la zona centro y norte con proyección de crecimiento hacia la zona sur y sur occidente (Figura 15). Según un informe emitido en el 2016 por la asociación de bananeros del Magdalena y la Guajira (Asabama) para este año Ciénaga Grande de Santa Marta contaba con una extensión de 13000 hectáreas de las cuales más del 76.9% se encontraban en el municipio de Zona Bananera (Abril, N. 2018).

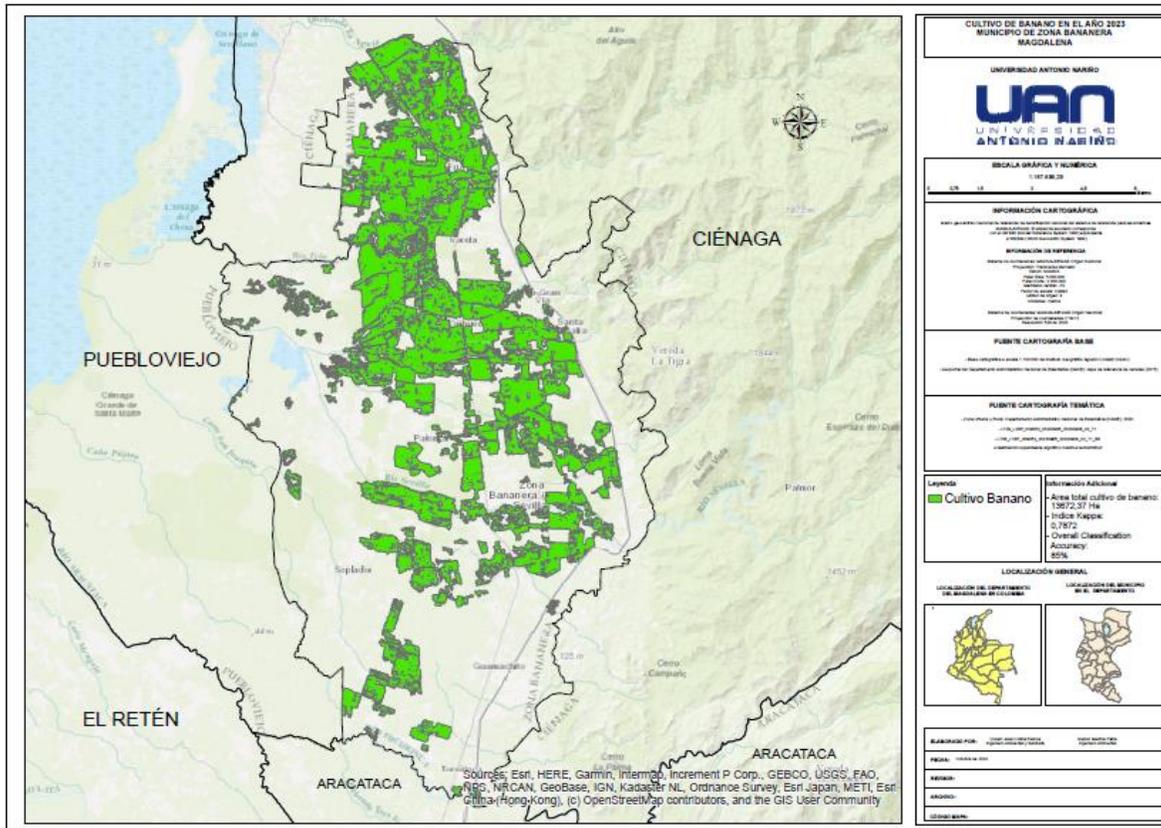
Figura 15.
 Mapa de cultivos de banano zona de estudio año 2015.



Nota. Es un mapa de la zona de estudio con la identificación del cultivo de banano en el año 2015.

Finalmente se tiene que para el año 2023 el área de este cultivo ascendió a 13672,37 hectáreas lo que corresponde al 30.62% del territorio municipal cubriendo la zona norte, centro y sur, con expansión hacia el sur occidente y fortaleciéndose en la zona sur como se proyectó en los análisis anteriores (Figura 16).

Figura 16.
 Mapa de cultivos de banano zona de estudio año 2023.



Nota. Es un mapa de la zona de estudio con la identificación del cultivo de banano en el año 2023.

El análisis de permanencia, pérdida y ganancia se divide en dos partes, las cuales son comparaciones de los resultados de procesamiento de la clasificación de los años, se cuenta con la primera parte entre los años 2000 y 2015, como segunda parte los años entre 2015 y 2023. Esta comparación se realiza con el fin de determinar el comportamiento del cultivo de banano (Tabla 4).

Tabla 4.

Hectáreas permanencia, perdida y ganancia de cultivo de banano entre los años 2000 y 2015, 2015 y 20203.

AÑO	2000 - 2015 (ha)	2015 - 2023 (ha)
Permanencia	6880,97	8548,19
Ganancia	3126,53	5214,17
Perdida	2267,79	1549,3

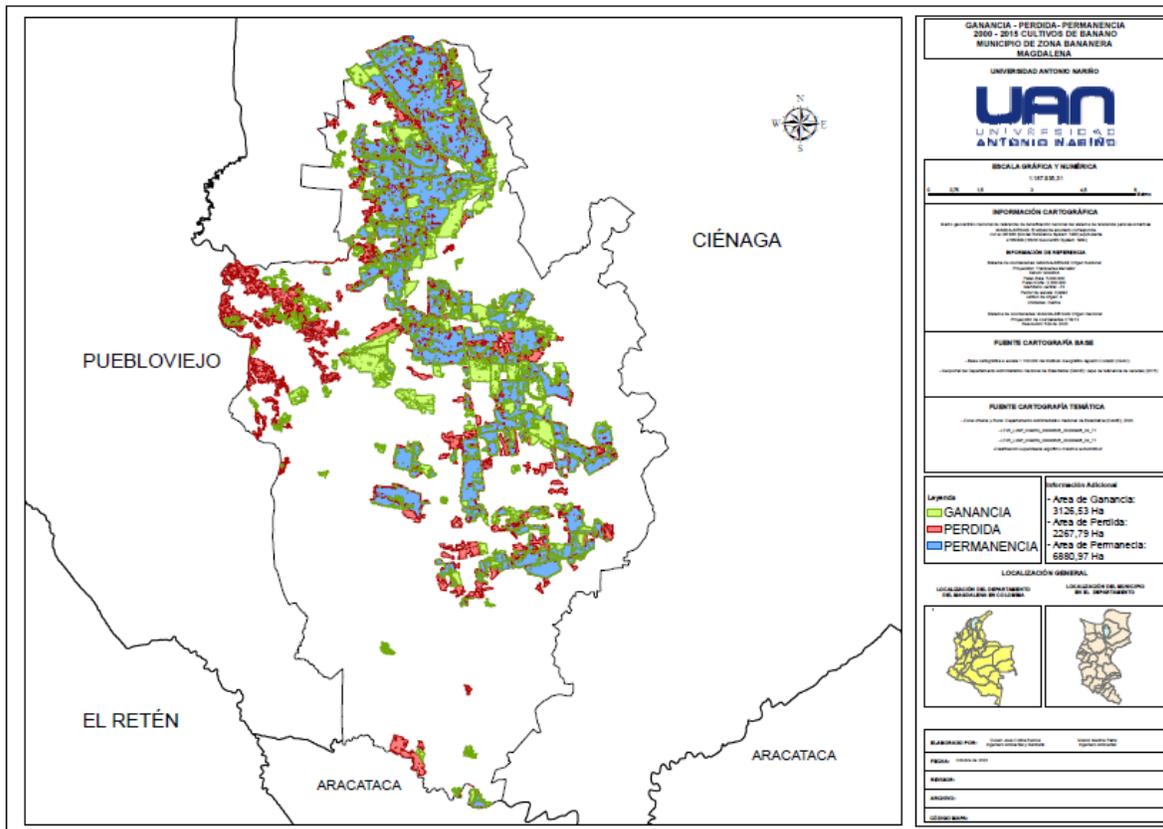
Nota. Tabla de ganancia, perdida y permanencia de los periodos 2000-2015 y 2015-2023.

Aunque el primer intervalo de tiempo analizado es bastante amplio, se logró identificar las zonas con pérdidas, ganancias y permanencias del cultivo de banano en el periodo del 2000 al 2015 en el municipio de Zona Bananera.

Para este periodo el cultivo de banano tuvo una ganancia de hectáreas en mayor medida en la zona centro y norte del municipio, con mayores pérdidas en la zona occidente y seguido de la zona sur oriente. El cultivo cuenta con hectáreas de permanencia desde el 2000 al 2015 en la zona norte y centro, siendo el corazón económico del municipio en el tiempo, este cultivo con gran proyección de creciente hacia la zona sur y sur occidente donde es ocupado por pastos y otros cultivos (Figura 17).

Figura 17.

Mapa de Ganancia, Pérdida y Permanencia del Cultivo de Banano en el periodo 2000 – 2015.

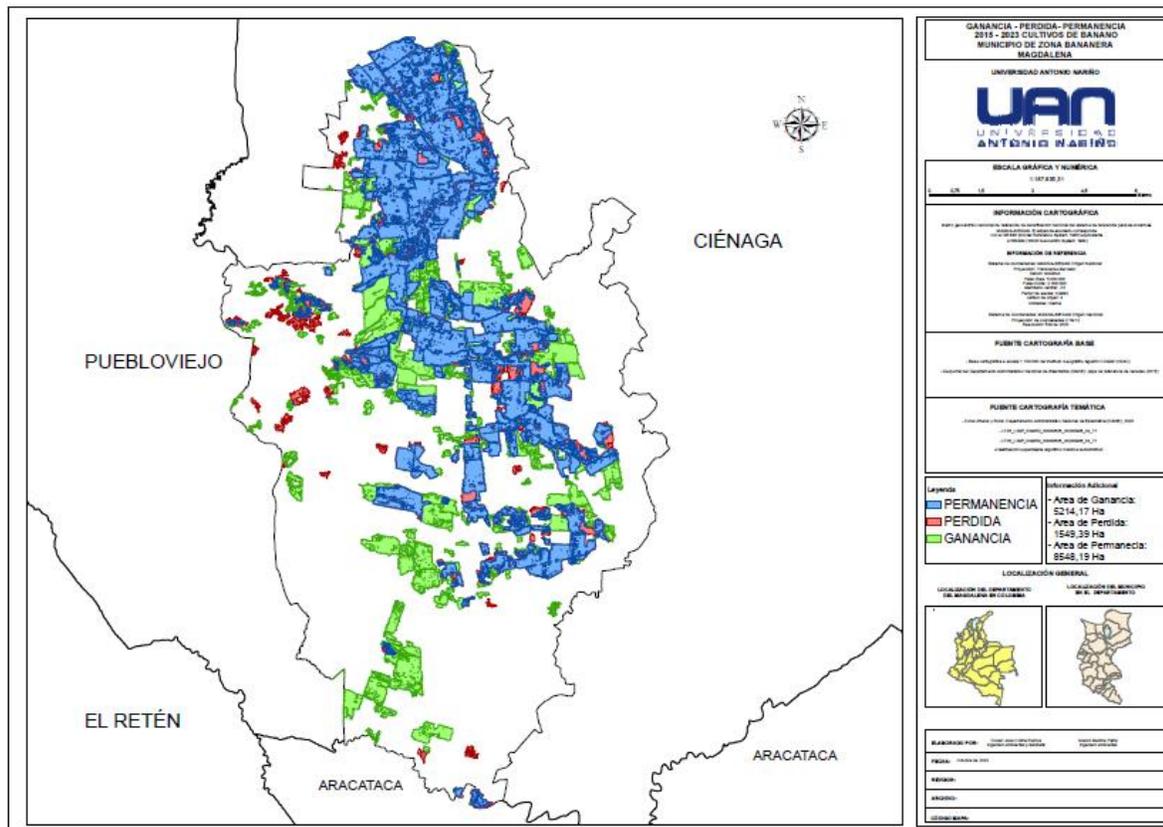


Nota. Mapa de la zona de estudio con las pérdidas, ganancias y permanencias del cultivo de banano en el periodo 2000 - 2015.

En el periodo entre 2015 y 2023, cuenta con una ganancia imponente de hectáreas cultivadas de banano en comparación al periodo del 2000 al 2015, aunque el periodo de tiempo que se analizó es inferior al anterior, se identifica un aumento considerable, identificando como el cultivo tiene mayor ganancia de hectáreas en la zona centro y sur del municipio, también se logra identificar como este cultivo pierde hectáreas en la zona occidente y en poca medida en la zona centro. Al analizar el resultado del periodo anterior y

último periodo, este afirma su crecimiento y expansión hacia la zona sur y sur occidente como se mencionó anteriormente (Figura 18).

Figura 18.
Mapa de Ganancia, Pérdida y Permanencia del Cultivo de Banano en el periodo 2015 – 2023.



Nota. Mapa de la zona de estudio con las pérdidas, ganancias y permanencias del cultivo de banano en el periodo 2015 - 2023.

6. Conclusiones

Para llevar a cabo una investigación asertiva y eficaz depende en gran medida de la selección adecuada de la información, en este caso las imágenes contaban con una buena

calidad y en el área de estudio donde se encuentra poca o casi nula presencia de nubes lo que de cierta manera apporto para tener una clasificación con buenos estándares.

Con el fin de obtener una buena clasificación es necesario determinar el mayor número de clases posibles, además de tomar las muestras necesarias, más de 200 por clase, para poder entrenar el clasificador de la mejor manera. Cabe resaltar que para obtener resultados óptimos no solo basta con realizar la clasificación si no que a los resultados de esta hay que hacerles un tratamiento en los cuales de manera manual se corrijan esos lugares que el observador crea conveniente.

La identificación del cultivo de banano para los años 2000, 2015 y 2023 se realizó de manera efectiva, logrando evidenciar las áreas que pertenecen al cultivo de banano, ya que, presenta una tonalidad particular en las imágenes, por ende, se logran buenos resultados. El cultivo de banano presenta concentración en la zona centro y norte, con índices de expansión a la zona sur y sur occidente donde hay otros cultivos y pastos. Se identifican 9148.76 hectáreas de cultivo de banano para el año 2000, con crecimiento en el año 2015 con 10007.50 hectáreas y para el año 2023 se identifican 13672.37 hectáreas de este cultivo.

Se evidencia para el periodo comprendido en los años del 2000 al 2015 como el cultivo de banano presenta cambios pequeños con poco crecimiento, aun así avanzo y parte de las áreas de pastos pasaron a ser cultivos de bananos en la zona centro y norte del municipio, así como resultado se identifican 3126,53 hectáreas de ganancia del cultivo de banano, por otro lado cuenta con 2267,79 hectáreas de pérdidas del mismo cultivo, está perdida fue mucho menor que la ganancia, por ende, cuenta con tendencia de expansión en el municipio hacia la zona sur y sur occidente. Para el periodo entre los años 2015 y 2023, el crecimiento del cultivo de banano es notorio y con una expansión intensa, que cubre la zona

norte, centro y sur, con mayor potencial de crecimiento en la zona sur y sur occidente como se proyectó en el periodo analizado anteriormente, con 5214,17 hectáreas de ganancia y 1549,30 hectáreas de pérdida, en este periodo de tiempo es considerable su expansión en el municipio de Zona Bananera.

Los cambios presentados durante los años del 2000 al 2023 del cultivo de banano se evidencian de manera clara y aún más como se ha transformado en el tiempo, este cultivo ha ocupado gran extensión de áreas que anteriormente se radicaban como pastos y otros cultivos, el cual, el cultivo de banano se posiciona con gran extensión de áreas en el municipio pasando de ocupar en el año 2000 el 20.49% del territorio del municipio a ocupar el 30.62% en año 2023, este crecimiento se da en gran medida desde 2015 al 2023, este cultivo se posiciona mayormente en la zona norte y centro del municipio y los cambios se presentan en la zona centro, sur y sur occidente con tendencia de seguir ganando hectáreas en las últimas zonas mencionadas, por otra parte la zona con mayores pérdidas es la occidente. La dinámica de los cambios presentados en el municipio en cuanto al cultivo de banano es influenciada por distintos factores socioeconómicos, los cuales, sustentan el crecimiento de este cultivo, siendo un municipio altamente agrícola su expansión continuara y medidamente ocupando cada vez mayor porcentaje del territorio del municipio de Zona Bananera.

7. Referencias bibliográficas

- Abril, N. (2018, October 12). *Colombia: el cultivo de banano que acapara tierra y agua en la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Mongabay.
- Arias, P., Drankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (2004). La Economía Mundial del Banano 1985 - 2002. *Organización de Las Naciones Unidad Para La Agricultura y La Alimentación*.
- Beltrán Gracia, A., & de la Riva Fernández, J. (2017). *Dinámica de la superficie agrícola y la población en el entorno de Alepo entre 2000-2016 a partir del análisis multitemporal de imágenes Landsat*. <http://zaguan.unizar.es>
- Bognanni, F. (2010). La teledetección aplicada al estudio del pasado a una escala inter-regional. *Revista Española de Antropología Americana*, 40(2), 77–93.
- Camas Guardamino, D. J., & Mamani Sinche, M. S. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54–74. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.3>
- Casal, G. (2013). Conceptos físicos básicos para la utilización de teledetección óptica en el cartografiado de hábitats bentónicos costeros. *Revista de Teledetección*, 40, 134–142.
- de Almeida, A. Q., de Mello, A. A., Neto, A. L. D., & Ferraz, R. C. (2014). Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga Brasileira e dados TM Landsat 5. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 49(4), 306–315. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000400009>
- De León Mata, G. D., Pinedo Álvarez, A., & Martínez Guerrero, J. H. (2014). Application of remote sensing in the analysis of landscape fragmentation in Cuchillas de la Zarca, Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 84, 42–53. <https://doi.org/10.14350/rig.36568>
- Fragoso-Campón, L., Quirós Rosado, E., & Gutiérrez Gallego, J. A. (2020). Clasificación supervisada de imágenes PNOA-NIR y fusión con datos LiDAR-PNOA como apoyo en el inventario forestal. Caso de estudio: Dehesas. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 45(3), 77–96. <https://doi.org/10.31167/csecfv0i45.19882>
- Goebertus, J. (2008). Palma de aceite y desplazamiento forzado en zona Bananera: “trayectorias” entre recursos naturales y conflicto*. In *Colombia Internacional* (Vol. 67).
- Gutiérrez Triana V. (2020). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL SECTOR AGRÍCOLA EN EL MUNICIPIO DEL ESPINAL-TOLIMA*.

- Judith, G., & Gutierrez, P. (2017). *ESTUDIO DE COMPETITIVIDAD DEL SECTOR EXPORTADOR DEL BANANO DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA Y DEL URABA ANTIOQUEÑO ESTEFANE NATALY GRANADOS IBAÑEZ.*
- Larrañaga, A. (2016). *Clasificación de cultivos a partir de observaciones de teledetección radar. Aplicación a zonas de secano y regadío de Navarra.*
- Muñoz, D. A., Montenegro, M. R., & Hernández, M. R. (2009). ANALISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS, EN LA MICROCUENCA LAS MINAS, CORREGIMIENTO DE LA LAGUNA, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26 (1), 11–24.
- Murillo Castañera R. A. (2018). *Implementación del método máquinas de soporte vectorial en bases de datos espaciales para análisis de clasificación supervisada en imágenes de sensores remotos.*
- Nenmaoui, A., Torres, M. Á. A., Novelli, A., Marín, M. C. V., Torres, F. J. A., Betlej, M., & Cichón, P. (2017). *Mapeado de invernaderos mediante teledetección orientada a objetos: relación entre la calidad de la segmentación y precisión de la clasificación.* <https://www.researchgate.net/publication/319109651>
- Noca, N. C. (1982). *La teledetección: una técnica de gran valor en la investigación geográfica.*
- Poveda-Sotelo, Y., Bermúdez-Cella, M. A., & Gil-Leguizamón, P. (2022). Evaluation of supervised classification methods for the estimation of spatiotemporal changes in the Merchán and Telecom paramos, Colombia. *Boletín de Geología*, 44(2), 51–72. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022002>
- Reyes Mendoza, N. E. (2023). *Análisis multitemporal del espejo de agua en la ciénaga de Zapatoza ubicada en los departamentos del Cesar y Magdalena, durante el periodo 2015 – 2017 y 2021.*
- Rojas, J.-C., & Castiblanco Roza, C. (2018). Variabilidad espacial y análisis multitemporal sobre los cambios en las coberturas de la tierra ocasionados por la expansión del cultivo de la palma de aceite en los años 1985, 2000 y 2016 en el municipio de San Carlos de Guaroa (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 21 (1), 59–68. https://doi.org/10.15446/ga.v20n2._____
- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Multitemporal analysis of land use change in the Terrestrial Protected Landscape Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117–123. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.16>
- Sanchez-Galan, J., Jiménez, J. U., Fábrega, J., Serrano, J., & Quirós-McIntire, E. I. (2019). Clasificación supervisada de firmas espectrales de coberturas agropecuarias en Panamá utilizando el mapeo del ángulo espectral. *XLV CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE INFORMÁTICA.*

- Villalobos Ramírez, L. E. (2020). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA BOSCOVA Y USO DE LA TIERRA EN EL DISTRITO DE POMAHUACA, PROVINCIA DE JAÉN, PERIODO 2000-2019.*
- Viloria de la Hoz, J. (2008). *BANANO Y REVALUACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, 1997-2007.* http://www.banrep.gov.co/publicaciones/pub_ec_reg4.htm
- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Belward, A. S., Cohen, W. B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J. D., Hostert, P., Hughes, M. J., ... Zhu, Z. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225, 127–147. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.015>
- Zanetti, J., Gripp, J. S., Ferreira, I. O., & das Graças Medeiros. (2015). *ANÁLISE CRÍTICA DA EVOLUÇÃO DO SATÉLITE LANDSAT.*
- Chuvieco Salinero, E. (1990). *Fundamentos de la Teledetección Espacial. Edición Ilustrada.* Barcelona, España: Rialp.
- Prof. Da Silva, C. J., Lic. Insaurralde, J. A., & Dr. Cardozo, O. D. (2014). *CARTOGRAFÍA DE COBERTURAS DEL SUELO MEDIANTE SENSORES REMOTOS, DE LA CIUDAD DE RESISTENCIA, ARGENTINA.* Revista Geográfica Digital IGUNE.