



**Análisis multitemporal utilizando técnicas de
Teledetección de la pérdida de cobertura
vegetal por causa de la minería ilegal en el
Bajo Cauca Antioqueño**

Autor: Jorge Armando Mejía Ramírez

Tutor: Luis Giovanny Carvajal Rodríguez

**Especialización en Geomática
Facultad de Ingeniería
Universidad Militar Nueva Granada
2016
Bogotá, Colombia**

Análisis multitemporal utilizando técnicas de Teledetección de la pérdida de cobertura vegetal por causa de la minería ilegal en el Bajo Cauca Antioqueño

Multitemporal analysis using Teledetection techniques of the lost of vegetal covert because of illegal mining in Bajo Cauca Antioqueño

Jorge Armando Mejía Ramírez
Ingeniero de Minas y Metalurgia
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia
u3101315@unimilitar.edu.co

RESUMEN

En Colombia durante los últimos años se ha evidenciado el incremento de la minería ilegal de oro en muchas regiones, trayendo consigo numerosos problemas ambientales, de salud, socioeconómicos, entre otros. Una de las regiones más golpeadas por este fenómeno es el Bajo Cauca Antioqueño, por esta razón se escogió esta zona con el objetivo de evaluar la pérdida de cobertura vegetal durante 30 años por causa de la minería ilegal de oro con maquinaria pesada en tierra utilizando técnicas de teledetección. Para esto se usaron imágenes satelitales multiespectrales LANDSAT tomadas en diferentes años (1986 y 2016), a través de una clasificación supervisada usando el algoritmo de máxima verosimilitud, luego se aplicaron filtros para suavizar las imágenes y se calcularon las áreas de cada cobertura para realizar una mejor interpretación de los datos

arrojados en la clasificación. Lo antes dicho permitió evaluar la dinámica espacio - temporal del aumento de la pérdida de la cobertura vegetal y así poder cuantificar el cambio de las coberturas, como fue el incremento del suelo desnudo en un 7,9% en el área de estudio. Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el software PCI Geomatica 2014.

Palabras clave: Clasificación supervisada, teledetección, suelo desnudo, máxima verosimilitud, niveles digitales, minería ilegal, filtros.

ABSTRACT

In Colombia, in the last years it has been evident the increase of the gold illegal mining in many regions, bringing with it numerous environmental, health, social economics problems, among others. One of the regions most hit by this phenomenon is Bajo Cauca Antioqueño, for this reason it has been chosen this zone with the goal to assesment the lost of vegetal covert during the last 30 years because of gold illegal mining with heavy machinery in land using teledetection techniques. To reach this it been used multispectral satellite images LANDSAT taken in different years (1986 y 2016), through of a supervised classification using a maximum Likelihood algorithm, then, it been used filters to smooth the images and it been calculated the areas of each covert to make a better interpretation of the outcome of the classification. The data above let measure the temporal space dynamic of the increase of the lost of vegetal covert and then can quantificate the change of the coverts, like the increase of the naked soil in 7.9% in the study area. The process method of the images was with PCI geomatic software 2014

Key words: Supervised classification, teledetection, naked soil, maximum Likelihood, digital levels, illegal mining, filters.

INTRODUCCIÓN

El cambio de coberturas y uso del suelo es un proceso dinámico, originado por acción del hombre, que cada vez se hace más evidente en las cuencas hidrográficas, en áreas aledañas a las quebradas y ríos, así como en las partes altas de las montañas. Estos procesos de cambio son cada vez mayores y ocurren con rapidez, generando la pérdida de la cobertura vegetal y disminución en cantidad y calidad del recurso hídrico y de suelo; afectando de esta manera a las comunidades aledañas a estas cuencas. (Diego Muñoz Guerrero, 2009)

Últimamente en Colombia ha venido aumentando la problemática por el daño ambiental causado debido al aumento de la minería ilegal y las consecuencias que ella trae; como la pérdida de cobertura vegetal, el cambio y sedimentación de los cauces de los ríos, entre otros. La falta de capacidad del gobierno para controlar este fenómeno ha ayudado a que siga en aumento.

Para el año 2014 Colombia tenía 78.939 hectáreas con explotación de oro de aluvión (EOA), distribuidas en 17 de los 32 departamentos del país, de las cuales el 79 % se encuentran en los departamentos de Antioquia y Chocó. La región del Bajo Cauca Antioqueño, es una de las regiones con mayor afectación por causa de la EOA con uso de maquinaria terrestre en el territorio colombiano. Nechí (Antioquia) es el municipio que presenta mayor área afectada con 6232 ha que representan el 8% de la afectación nacional. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

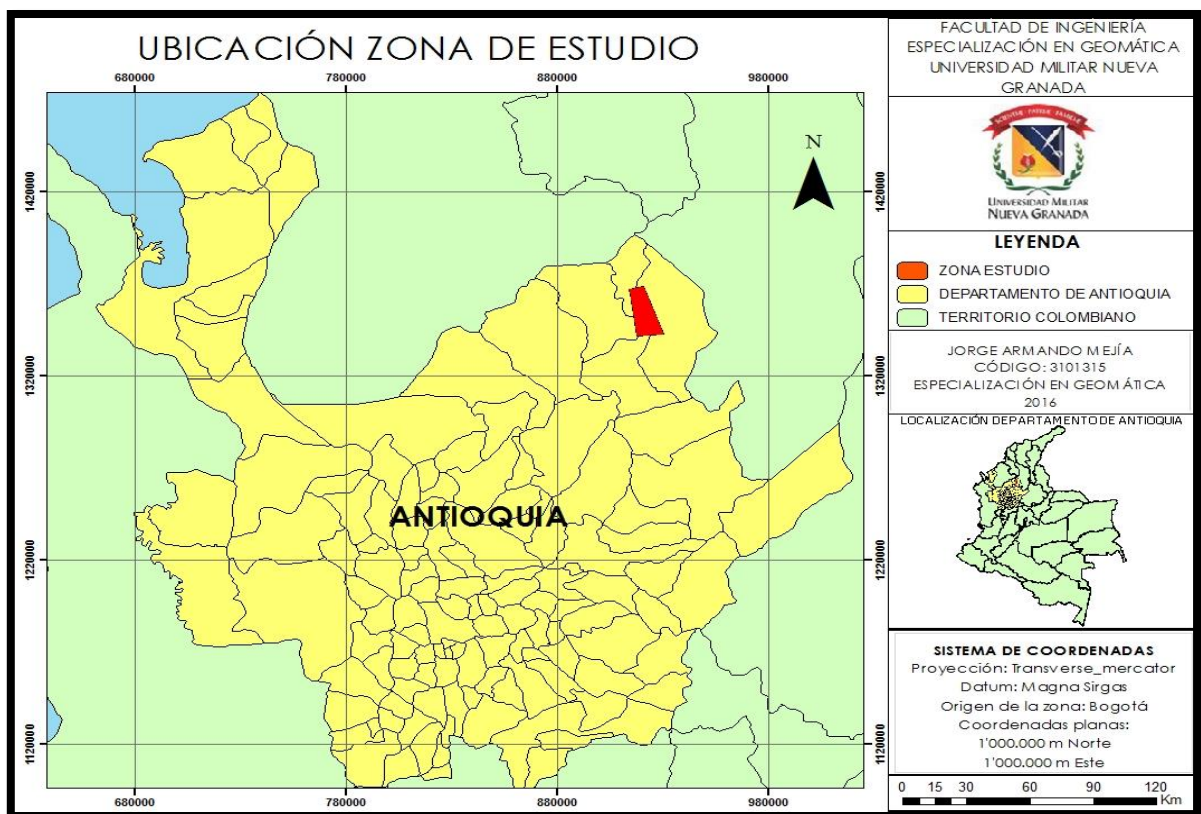
En consecuencia con lo expuesto, el objetivo principal de este artículo será realizar un análisis multitemporal donde se evidencie la evolución de EOA en una zona del Bajo Cauca Antioqueño y los daños ambientales que esta causa, en particular la degradación de la cobertura vegetal, a partir de imágenes satelitales LANDSAT con resolución espacial de 30 metros en un periodo de 30 años (1986 – 2016).

1. METODOLOGÍA

1.1. ÁREA DE ESTUDIO

La región del Bajo Cauca antioqueño está conformada por los municipios de Cáceres, Caucasia, El Bagre, Nechí, Tarazá y Zaragoza y su entorno está constituido por Amalfi, Anorí, Ituango, Segovia y Valdivia. La zona comprende las tierras entre las planicies del bajo río Cauca y las estribaciones occidentales de la Serranía de San Lucas, entre los ríos Nechí y Cauca. La región se ha caracterizado por la explotación de la minería, actividad que ha determinado históricamente el estado de los recursos naturales y la dinámica de su configuración regional. (DIH, 2006)

La zona de estudio se encuentra en el departamento de Antioquia específicamente en región del Bajo Cauca, que comprende la cuenca del río Nechí entre los municipios de Zaragoza, El Bagre, Caucasia y Nechí. En la ilustración 1. Se presenta el mapa de localización, en donde se puede observar la ubicación geográfica del área de estudio y se escogieron de esta zona aproximadamente 25342 hectáreas (ha) para realizar el análisis de coberturas.



Mapa 1. Localización de la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia. 2016

La fotografía que se muestra a continuación fue tomada en el departamento de Antioquia, donde se evidencia de explotación de oro de aluvión con maquinaria en tierra y nos muestra los daños ambientales que esto causa como lo son; los daños en el paisaje, sedimentación y desvío de los cauces de los ríos, pero sobre todo la pérdida de cobertura vegetal con el paso del tiempo que es el tema a analizar en este estudio.



Ilustración 1. Fotografía tomada en el departamento de Antioquia
Fuente: (MINJUSTICIA, Junio 2016)

1.2. PROCESO DE EXPLOTACIÓN DE ORO EN TERRENOS ALUVIALES

Etapa 0: Cobertura sin afectación. Se seleccionan los depósitos de sedimentos propicios para la explotación de oro de aluvión. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Etapa 1: Inicialmente, se prepara el terreno donde se realiza la explotación del mineral; lo anterior consiste en adecuar las áreas circundantes a los ríos donde se presume la disposición de oro para su explotación, en zonas que generalmente se encuentran con cobertura vegetal. De esta manera, se cambia la cobertura con vegetación por un suelo desnudo mediante tala rasa de los horizontes superficiales del suelo. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

En cuanto al acceso a las áreas de producción para el personal y para el transporte del mineral extraído, en algunas zonas del país se hace por la misma

red fluvial; en otros lugares es necesario construir trochas, caminos o carreteras pequeñas, o adecuar la infraestructura existente. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Etapa 2: Una vez exista acceso a la zona de explotación y el terreno esté preparado, se inicia la operación de las actividades de explotación del mineral, que consiste en la excavación de arenas, gravas y cantos rodados, los cuales se movilizan y acopian in situ. El beneficio puede realizarse en el mismo lugar mediante técnicas físicas mecánicas o artesanales, como la clasificación y separación por tamaños y gravedad, y/o mediante técnicas químicas como amalgamación y lixiviación con el uso de sustancias como mercurio y cianuro; es importante resaltar que el beneficio no está ligado exclusivamente al uso de sustancias químicas. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Esta etapa corresponde a procesos pequeños de explotación que en estados incipientes no es detectado por interpretación visual en imágenes satelitales. La detección de esta etapa mediante índices espectrales constituye la “alerta temprana”. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Etapa 3 y 4: En la medida en que la actividad de explotación se consolida en el sitio, el patrón geográfico es más evidente por la expansión en área de las evidencias, que se traduce en mayor escala de aprovechamiento, con métodos más mecanizados para la extracción y movilización de materiales y tecnificación en la clasificación y el beneficio, de tal manera que se obtiene un producto más puro. Adicionalmente, como subproductos de la explotación también se obtiene plata y platino, por cuanto los yacimientos auríferos están relacionados con estos metales. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Estas etapas se reconocen por su mayor tamaño reflejados en amplias zonas de suelos desnudos provenientes de la remoción de material y excavaciones, y también incluye varias lagunas de beneficio. Estas etapas no siempre se

presentan y se relacionan con la riqueza del yacimiento. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Etapa 5: Debido a que el oro es un recurso natural no renovable, en algún momento las áreas de explotación de este mineral son abandonadas para encontrar nuevos frentes de exploración y aprovechamiento. De acuerdo con la normatividad vigente en Colombia, la minería regulada debe contemplar medidas restaurativas después de las operaciones de explotación una vez se dé el abandono definitivo de la mina, de tal manera que se procure restablecer la capa vegetal. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

De acuerdo con la Ilustración 2. Después de encontrar depósitos de sedimentos propicios para la explotación de oro de aluvión (etapa 0) y de cambiar las coberturas existentes en la etapa de preparación (etapa 1), las actividades de operación y beneficio ocurren simultáneamente en el lugar de explotación. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Generalmente se comienza con pequeñas áreas aprovechadas (etapa 2) que posteriormente se expanden en tamaño y cantidad a núcleos aislados (etapa 3), hasta llegar a consolidarse en grandes extensiones de aprovechamiento de oro de aluvión (etapa 4). Generalmente cuando se abandona la mina de oro de aluvión por agotamiento del recurso se buscan áreas próximas para reiniciar el proceso de explotación (etapa 5). (MINJUSTICIA, Junio 2016)



Ilustración 2. Etapas del proceso de explotación de oro de aluvión con uso de maquinaria pesada en tierra. Fuente: (MINJUSTICIA, Junio 2016)

1.3. RECURSOS UTILIZADOS

Para la detección de los cambios de la cobertura vegetal en la zona antes mencionada, se utilizaron dos imágenes satelitales multiespectrales tomadas del portal: <http://earthexplorer.usgs.gov/>, la cual es la página de internet de estudios geológicos de los Estados Unidos. Una de las imágenes fue tomada con el satélite LANDSAT 5 y la otra fue tomada con el satélite LANDSAT 8, en la tabla 1. Se muestran algunas de las características técnicas de las imágenes.

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales usadas en el estudio

Satélite	LANDSAT 5	LANDSAT 8
Fecha de la toma	07 agosto de 1986	21 mayo del 2016
Sensor	TM Óptico	OLI_TIRS Óptico
Resolución Espacial	30 m	30 m
Resolución Espectral	6 Bandas	8 Bandas
Resolución Radiométrica	8 Bits	8 Bits
Nivel de Procesamiento	1T	1T
DATUM	WGS84	WGS84

Fuente: (SURVEY, 2016), características imágenes LANDSAT

A continuación, se pueden visualizar las imágenes satelitales en color natural que se van a utilizar en este estudio, tienen un periodo de toma entre ellas de 30 años, una tomada en 1986 (LANDSAT 5, RGB:321) y la otra tomada en 2016 (LANDSAT 8, RGB:432), se identificarán varios tipos de coberturas, luego se realizará la clasificación supervisada de las coberturas de las imágenes con el Software PCI Geomatica 2014, posteriormente se calcularán las áreas afectadas por la EOA con maquinaria pesada en tierra y por último se evaluarán los resultados.

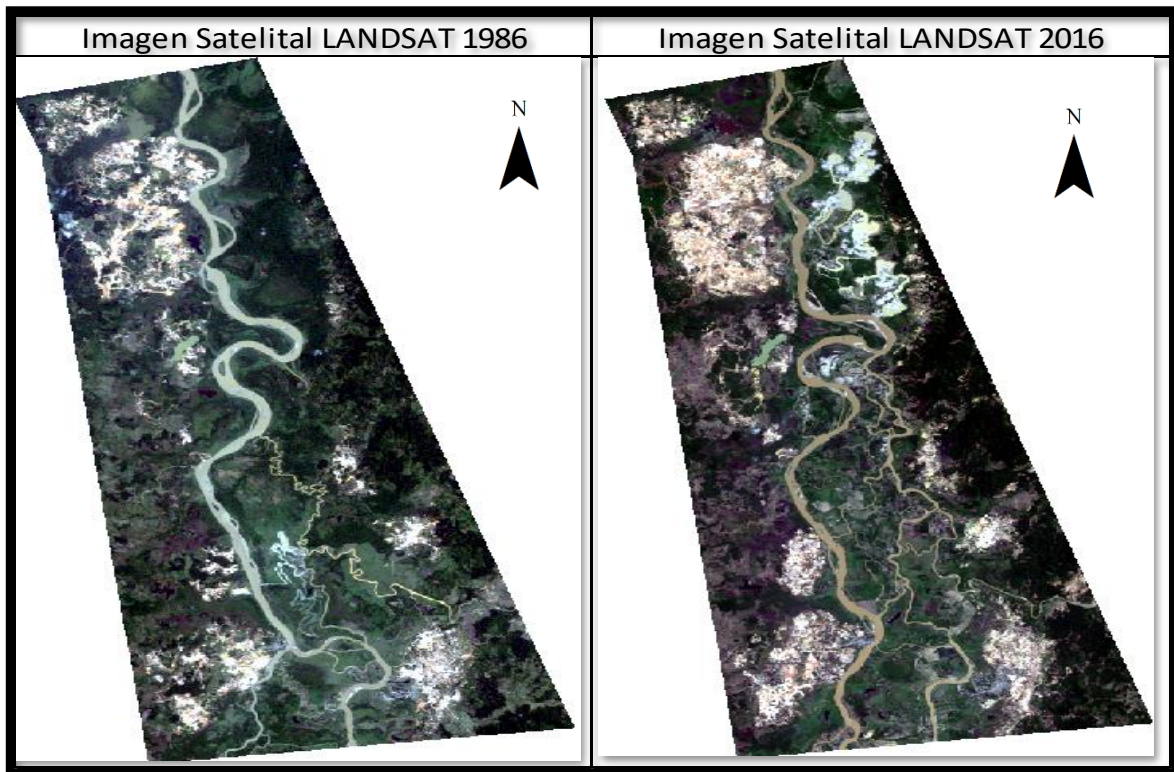


Ilustración 3. Imágenes LANDSAT con diferente temporalidad de la zona de estudio
Fuente: (SURVEY, 2016)

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE IMÁGENES

La clasificación supervisada requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas presentes en el área de estudio, para lo que se realiza, en el mejor de los casos, una combinación de trabajo de campo, de análisis de

fotografías aéreas, mapas e informes técnicos, así como referencias profesionales y locales. (IGAC, 2011)

según (CHUVIECO, 2002) este método requiere un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos en campo. La familiaridad que se tiene con el área de interés permitió delimitar sobre las imágenes zonas representativas (áreas de entrenamiento) de cada una de las clases presentes en la imagen.

Con base de este conocimiento se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento o áreas piloto. Las características espectrales de tales áreas son utilizadas a fin de “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 (ver Ilustración 4). Así entonces, la clasificación supervisada intenta definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral, razón por la que es considerada un método artificial. (IGAC, 2011)

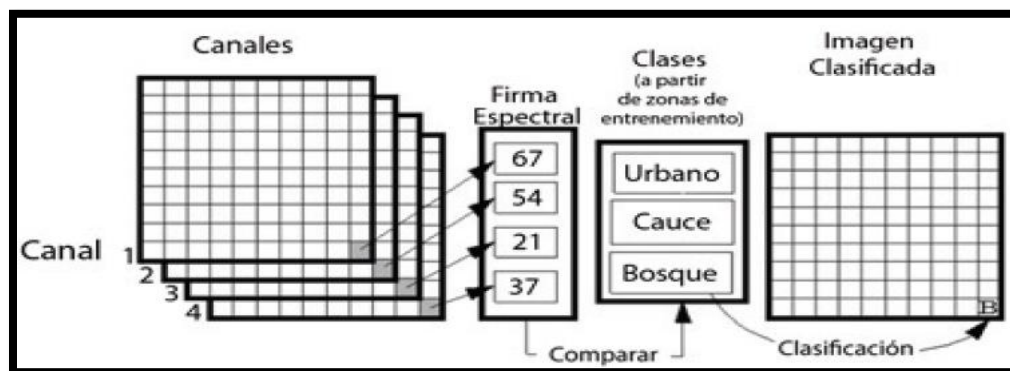


Ilustración 4. Esquema de clasificación digital supervisada
Fuente: (IGAC, 2011)

2.2. IDENTIFICACIÓN VISUAL DE LAS COBERTURAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Para que una fotografía aérea pueda ser interpretada en detalle es preciso que exista una experiencia previa, que nos permita identificar cada una de las categorías de interés por una serie de rasgos, como son, tono, textura, situación o

tamaño. Es posible distinguir entre matorral y arbolado, gracias a que este tiene una textura más rugosa; mientras la separación entre agua y suelos descubiertos se realiza sobre la diferencia de tonalidad. (CHUVIECO, 2002)

De La misma forma, la clasificación digital se inicia caracterizando los patrones que definen en la imagen las distintas categorías objetivo. Por cuanto se trata de una clasificación basada en los valores numéricos de los píxeles, esta caracterización también debe ser numérica; esto es, se trata de obtener en ND, o mejor aún el rango de ND, que identifica a cada categoría, para todas las bandas que intervienen en la clasificación. (CHUVIECO, 2002)

Para realizar este análisis se identificaron diferentes clases de cobertura, esto se obtuvo realizando una clasificación visual de cada una de ellas. Después de realizar esta identificación visual, se estableció que existían en la zona los siguientes tipos de coberturas: agua, suelo desnudo, pastos y herbazales, los cuales se muestran en la Ilustración 5.

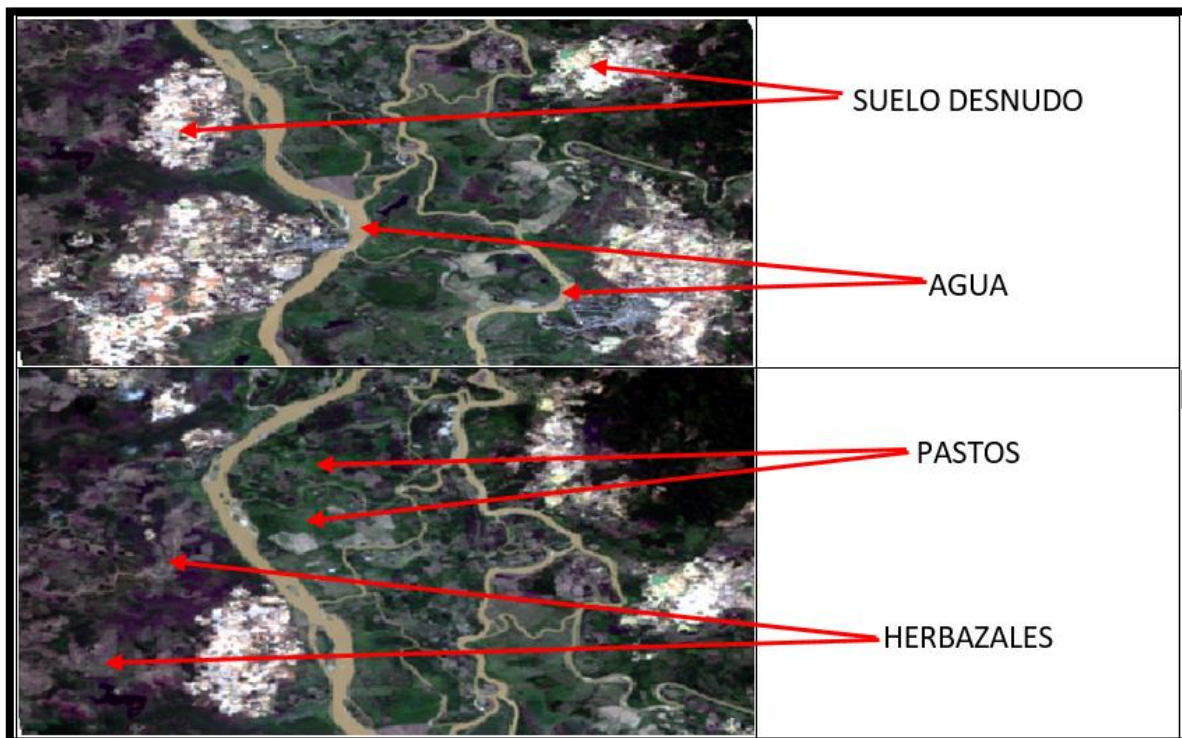


Ilustración 5. Identificación visual de los tipos de cobertura presentes
Fuente: Elaboración propia. 2016, (SURVEY, 2016)

2.3. ELECCIÓN Y APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN - MÁXIMA VEROSIMILITUD

Con base en las áreas de entrenamiento delimitadas con anterioridad se puede iniciar el proceso de clasificación, que es automático. El proceso consiste en la agrupación de todos los píxeles de cada banda espectral en una de las clases predeterminadas en la etapa anterior. El resultado será una nueva imagen en la que los ND están categorizados en clases temáticas. (IGAC, 2011)

Luego se seleccionó el algoritmo de Máxima Verosimilitud que realiza la agrupación de píxeles por Máxima Probabilidad, a partir de la información contenida en una serie de archivos de firmas espectrales. Se basa en la función de densidad de probabilidad asociada a la firma de un determinado campo de entrenamiento. Los píxeles se asignan a la clase más probable, tras comparar la probabilidad de que cada píxel pertenezca a cada una de las firmas consideradas. (Basterra, 2011)

El proceso consiste en la estimación de la probabilidad de pertenencia de cada píxel a cada clase temática a partir de la media, la desviación estándar y las matrices de varianza-covarianza de las muestras, así como para todas las bandas que intervienen en la clasificación. El píxel se asigna a una clase específica si su probabilidad es mayor que las probabilidades de las otras categorías. Los límites de las clases temáticas se representan en forma de elipses, encargados de definir el nivel de probabilidad de cada área (ver Ilustración 6). (IGAC, 2011)

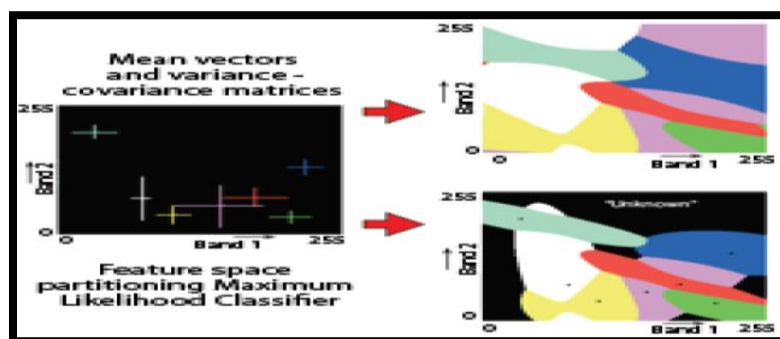


Ilustración 6. Principio del algoritmo de Máxima Verosimilitud
Fuente: (IGAC, 2011)

Los resultados de la clasificación se almacenan en una nueva imagen, similar a la original, en cuanto a estructura y tamaño, pero con la importante diferencia de que en el ND de cada píxel no corresponde a un valor de reflectividad, si no a la categoría que se le asignó. En definitiva, obtenemos una nueva matriz numérica, similar a la original, aunque en dos dimensiones, pues se ha condensado la información espectral (varias bandas) en una sola clase temática. (CHUVIECO, 2002), en la Ilustración 7 se muestra las imágenes clasificadas.

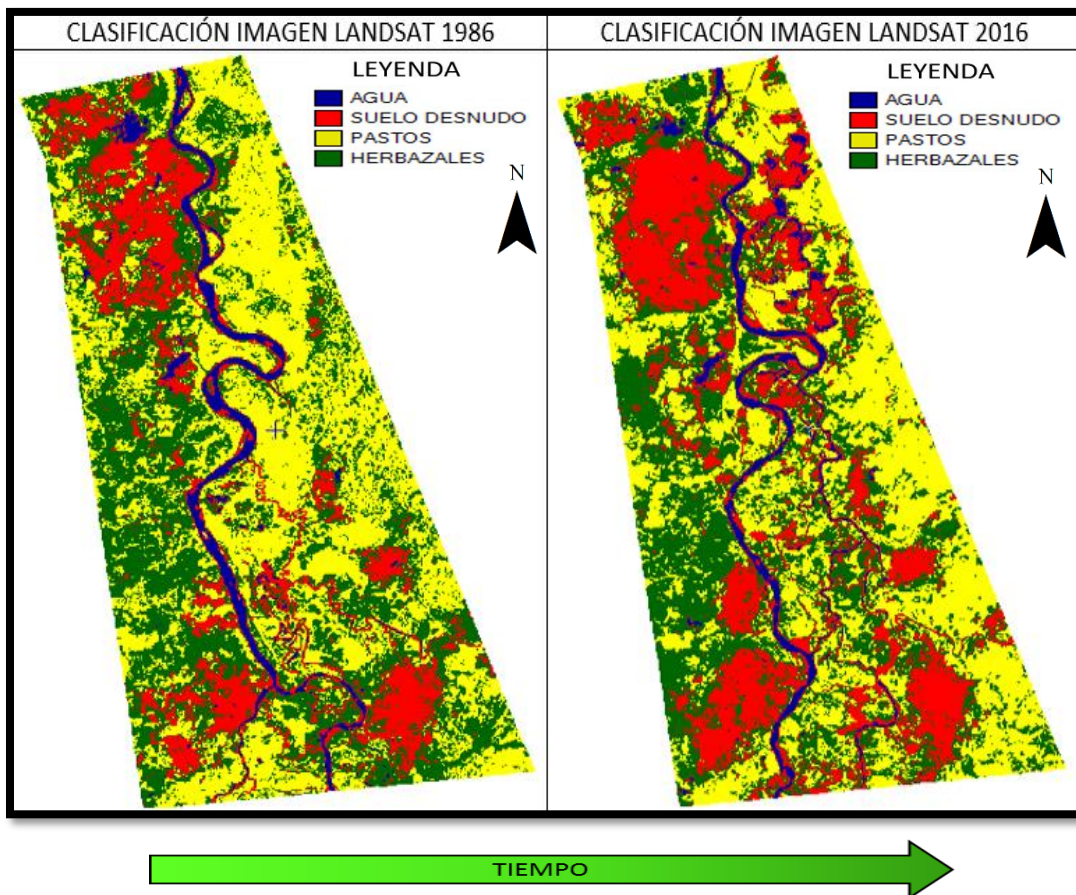


Ilustración 7. Imágenes LANDSAT clasificadas con diferente temporalidad
Fuente: Elaboración propia. 2016

2.4. OPERACIONES POST CLASIFICACIÓN

Luego se empleó un filtro de paso bajo para reducir el ruido del sensor y suavizar la imagen, esto se realizó utilizando el algoritmo FMO. Los filtros espaciales se

utilizan cuando la dispersión coherente de la señal en datos SAR a menudo causa efectos de “moteado” o de “sal y pimienta”. El moteado es inherente en la mayoría de las imágenes, y puede impedir la correcta interpretación de la imagen. Esto se realiza para disminuir el ruido del sensor y limpiar una imagen radar. (Geomatics, 2015) En la Ilustración 8. Podemos observar una imagen clasificada más limpia y suavizada.

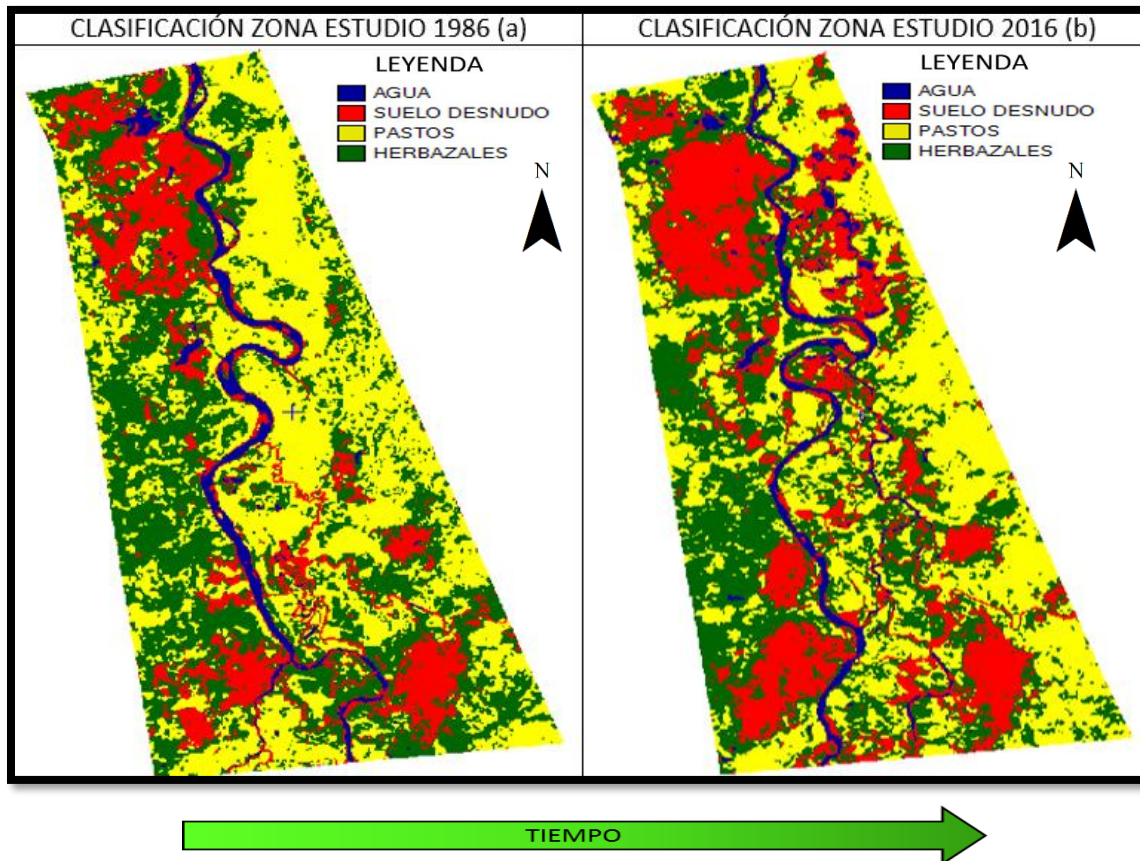


Ilustración 8. Imágenes LANDSAT clasificadas y suavizadas con diferente temporalidad
Fuente: Elaboración propia. 2016

2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis multitemporal es una evaluación de tipo espacial que consiste en identificar, no solo los que presenta en sí un fenómeno en particular, sino también en relación con las coberturas terrestres, a través de observaciones o lecturas que se hacen en diferentes periodos de tiempo. (MINJUSTICIA, Junio 2016)

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada permiten generar el análisis correspondiente a las variaciones en el tiempo de las coberturas o clases definidas. Es decir, a partir de las clasificaciones generadas para cada periodo se calcula la diferencia píxel a píxel, para evaluar los cambios significativos en el tiempo. (Gonzalo Eduardo Mendoza Riaño, 2009)

2.5.1. Evolución de la pérdida de cobertura vegetal a través del tiempo

Por medio de la generación y clasificación de las dos imágenes LANDSAT con diferente temporalidad, En la Ilustración 9. Podemos observar las transformaciones de las coberturas en el tiempo, en particular la pérdida de cobertura vegetal a causa de la minería ilegal y el uso de maquinaria pesada en tierra de un sector de la cuenca del río Nechí en el Bajo Cauca Antioqueño a lo largo de los 30 años en que se basa este estudio.

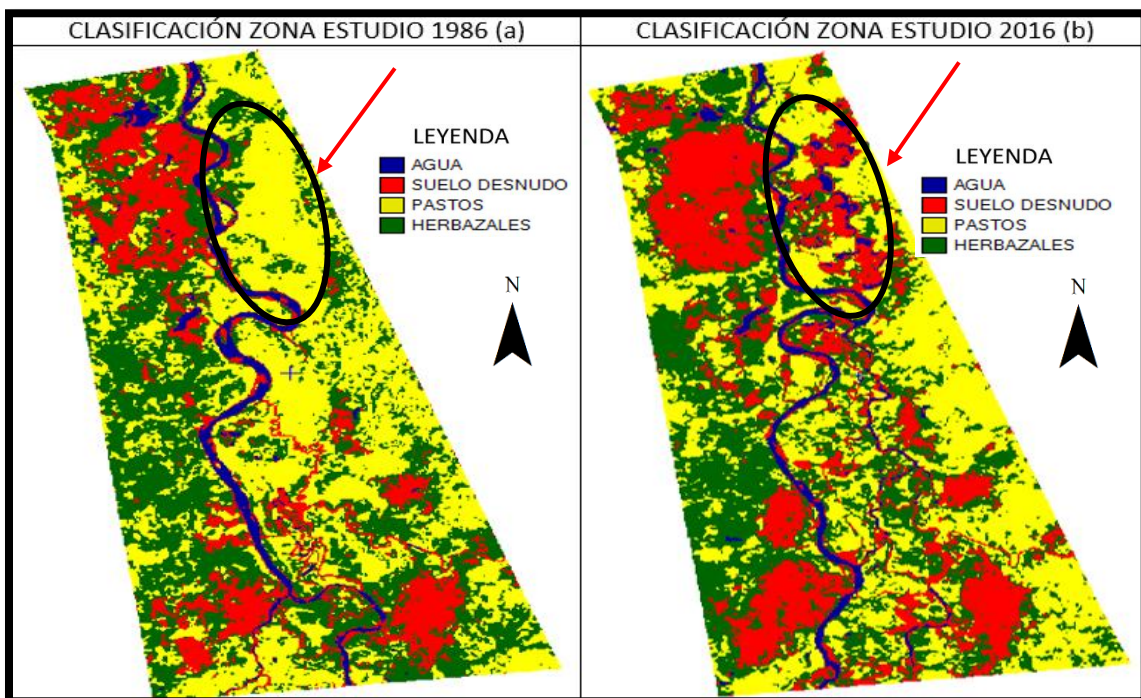


Ilustración 9. Diferencias de coberturas en el tiempo
Fuente: Elaboración propia. 2016

➤ Análisis en el año 1986

En principio, siguiendo el cauce del río Nechí y sus afluentes en un sector del Bajo Cauca Antioqueño, el análisis indicó que algunas zonas del área de estudio aún no se encontraban intervenidas por la acción de la actividad minera ilegal de oro de aluvión como se muestra en la imagen de la izquierda, zona encerrada en el círculo negro en la Ilustración 9(a). Y que en otras zonas la actividad minera ilegal ya estaba establecida evidenciando la pérdida de cobertura vegetal y como consecuencia, la evidencia de grandes extensiones del suelo desnudo o expuesto.

➤ **Análisis en el año 2016**

Después de 30 años de la acelerada y desaforada explotación ilegal de mineral aurífero de aluvión con maquinaria pesada en tierra Ilustración 9(b), se aprecian los cambios de cobertura en la zona de estudio. Se observan cambios en los patrones de exposición del suelo desnudo, la actividad antrópica se presenta en zonas que en el año 1986 no estaban, evidenciándose un aumento en la pérdida de cobertura vegetal y grandes extensiones de suelo desnudo a causa del aumento considerable de esta actividad ilegal.

Asimismo, se puede verificar el desarrollo de la minería ilegal con maquinaria pesada en tierra a lo largo del sector que se muestra en la imagen sobre los afluentes del río Nechí, también se puede observar que el río es desviado para formar canales y pozas que facilitan el avance, transporte y explotación de este tipo de minería en otras zonas aledañas al cauce del río.

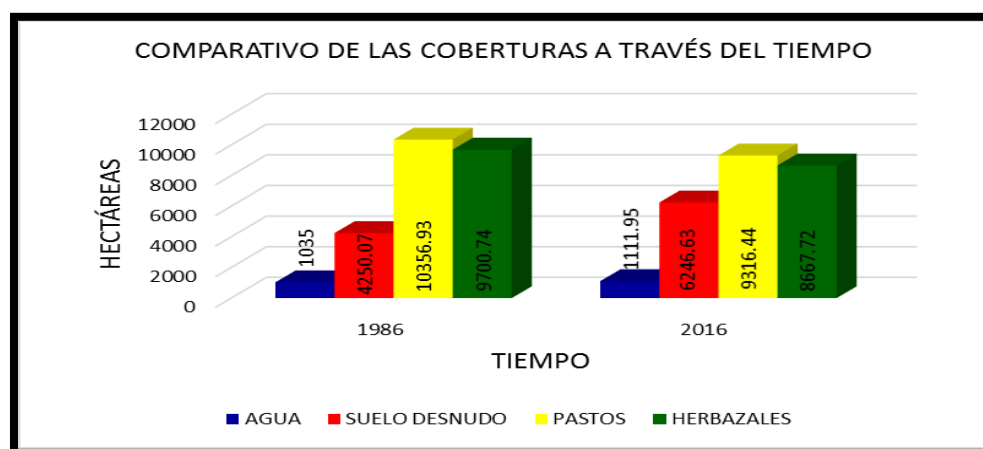


Ilustración 10. comparativo de coberturas a través del tiempo
Fuente: Elaboración propia. 2016

➤ **Análisis entre los años 1986 a 2016**

El resultado de la clasificación nos enseña que en los 30 años del análisis (1986 a 2016) hubo cambios considerables en todos los tipos de cobertura en el estudio, en particular el aumento enorme de la cobertura “SUELO DESNUDO” que pasó de tener 4250 ha en 1986 a 6246 ha en 2016 (ver Ilustración 10.), esto quiere decir que se evidenció un incremento de 1996 ha de pérdida de cobertura vegetal por causa de la minería ilegal, esto representado en el área total del estudio que son 25342 ha como se puede observar en la tabla 2. El SUELO DESNUDO en el año de 1986 representaba el 16.7% del área de estudio y pasó a tener en el 2016 el 24.6%, entonces en el periodo de estudio que son 30 años hubo un aumento del 7,9% de pérdida de cobertura vegetal por causa de la minería ilegal con maquinaria pesada en tierra.

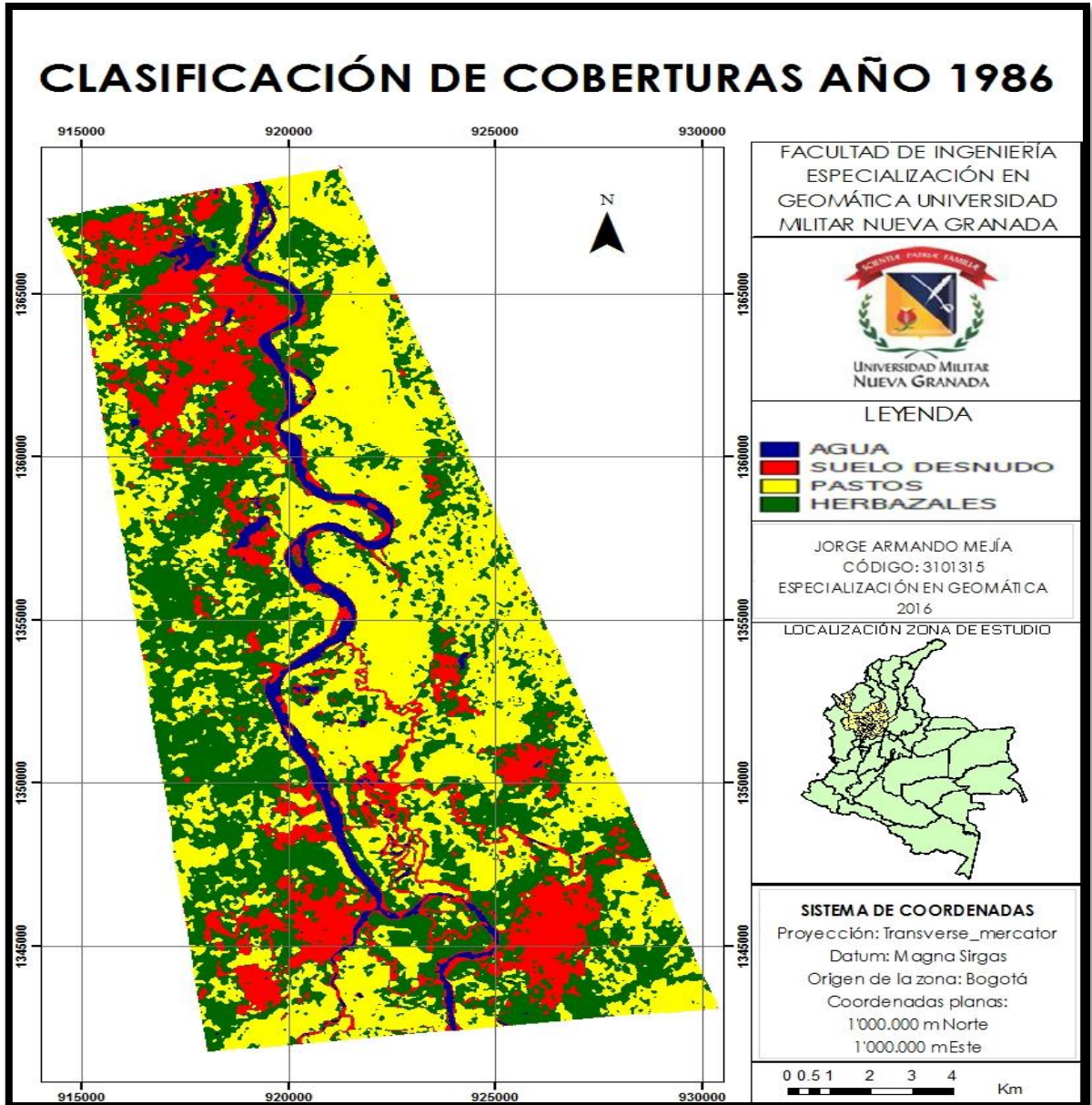
Tabla 2. Áreas y porcentajes de las coberturas en la zona de estudio

COBERTURA	ÁREA (ha) COBERTURA 1986	% ÁREA COBERTURA 1986	ÁREA (ha) COBERTURA 2016	% ÁREA COBERTURA 2016
AGUA	1035	4.084	1111.95	4.387
SUELO DESNUDO	4250.07	16.770	6246.63	24.648
PASTOS	10356.93	40.867	9316.44	36.761
HERBAZALES	9700.74	38.278	8667.72	34.201
TOTAL	25342.74	100	25342.74	100

Fuente: Elaboración propia. 2016

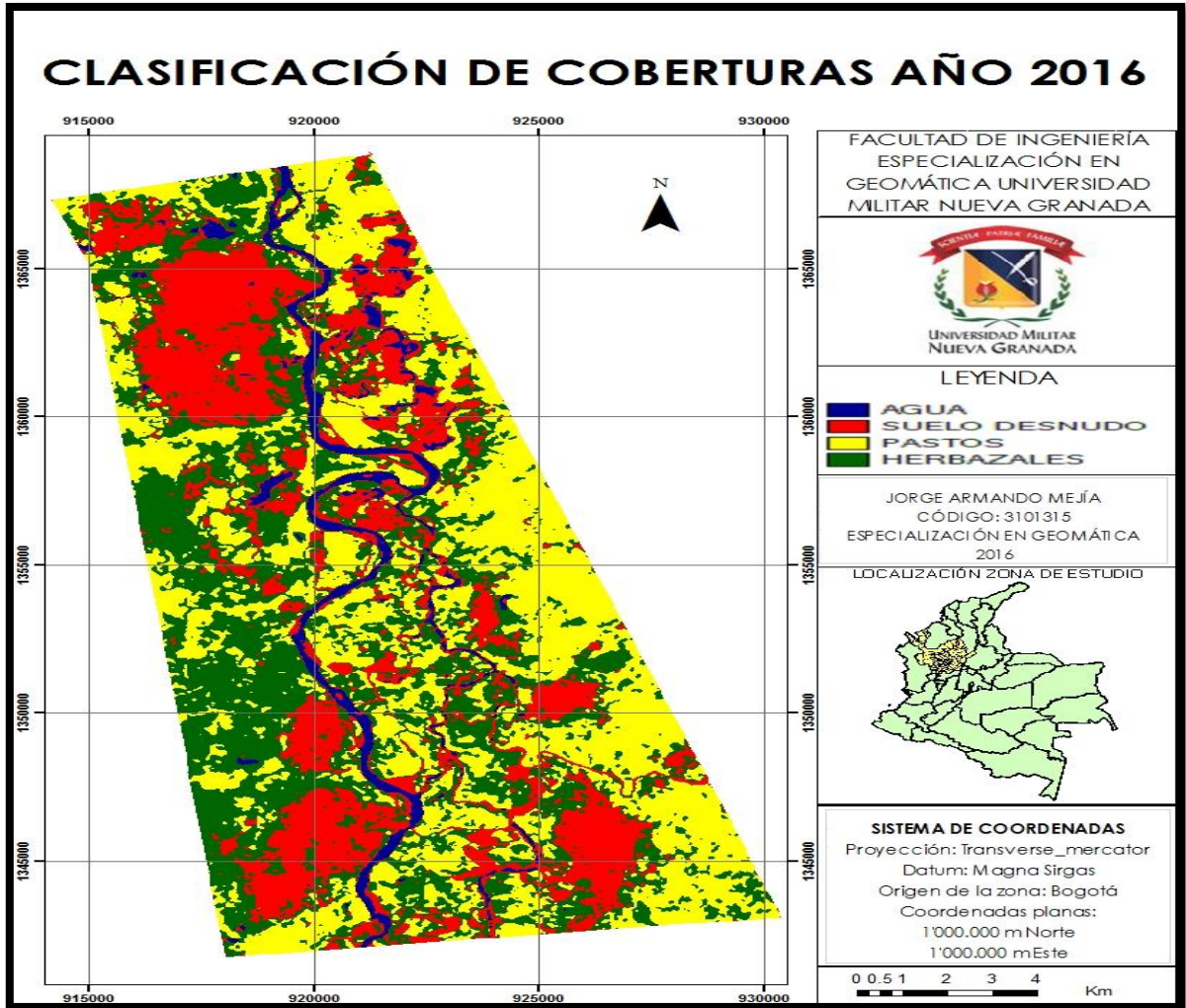
2.6. PRESENTACIÓN DE MAPAS DE CLASIFICACIÓN DE LAS COBETURAS

A continuación se presenta el mapa de clasificación de coberturas para el año 1986



Mapa 2. Clasificación de coberturas para el año 1986
Fuente: Elaboración propia. 2016

En el mapa 3. Se enseña la clasificación de coberturas para el año 2016



Mapa 2. Clasificación de coberturas para el año 2016
 Fuente: Elaboración propia. 2016

3. CONCLUSIONES

- Se hace evidente la gran importancia que ha adquirido la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, los cuales son imprescindibles para estudiar la tierra y gestionar sus recursos. Facilitan el análisis, la planificación y la ejecución de nuevas técnicas para las investigaciones, que contribuyen al progreso de las actividades de toda la humanidad.
- El análisis multitemporal que se efectuó hizo seguimiento a los cambios que sufrió la zona de estudio durante los 30 años evaluados, donde hubo un

aumento del 7,9% de pérdida de cobertura vegetal en el total del área de estudio y esto representa un incremento de 1996 ha de suelo desnudo por causa de la minería ilegal con maquinaria pesada en tierra, lo que genera grandes perjuicios ambientales, salubres y socioeconómicos a la comunidad cercana a la zona.

- Los entes ambientales, administrativos y policiales del departamento y del estado deben ejercer un mayor control e intervención de cómo hacer un mejor manejo de los recursos naturales, sobre todo en los ecosistemas aledaños a las cuencas hidrográficas en particular la cuenca del río Nechí y sus afluentes en el Bajo Cauca Antioqueño que fue objeto de este estudio.

BLIBLIOGRAFÍA

Basterra, I. (2011). *TELEDETECCION-IMÁGENES SATELITALES- PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES.*

CHUVIECO, E. (2002). *TELEDETECCIÓN AMBIENTAL, La observación de la Tierra desde el Espacio.*

Diego Muñoz Guerrero, M. R. (2009). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIOS DE USO DEL SUELO Y COBERTURAS, EN LA MICROCUENCA LAS MINAS, CORREGIMIENTO DE LA LAGUNA, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.*

DIH, P. P. (2006). *PANORAMA ACTUAL DEL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO. BOGOTÁ.*

Geomatics, P. (2015). *Manual de PCI Geomatica 10 .*

Gonzalo Eduardo Mendoza Riaño, K. P. (2009). *Análisis multitemporal de uso y cobertura del suelo en el Municipio de Manaure–Guajira-Colombia, Implementando imágenes landsat. Bogotá.*

IGAC, T. R. (2011). *Fundamentos de Procesamiento Digital de Imágenes. Bogotá.*

MINJUSTICIA, M. M. (Junio 2016). *Explotación de oro de aluvión Evidencias a partir de percepción remota.*

SURVEY, U. G. (2016). *<http://earthexplorer.usgs.gov/>.*