

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSGRADOS**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSGRADOS**



TITULO:

**ESTUDIO MULTITEMPORAL PARA LA DETERMINACIÓN
DE CAMBIOS EN LAS COBERTURAS EN POLIGONO
DENTRO DEL TRAMO 5 EL ROSAL- EL VINO DE LA
RUTA 50 DE CUNDINAMARCA PARA EL PERIODO 2007 –
2014**

Ing SANDRA MARCELA RIOS OLAYA

Bogotá D.C. Enero de 2015

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECCIÓN DE POSGRADOS



ESTUDIO MULTITEMPORAL PARA LA DETERMINACIÓN DE CAMBIOS EN LAS COBERTURAS EN UN POLIGONO DEFINIDO DEL TRAMO 5 “EL ROSAL- EL VINO” DE LA RUTA 50 DE CUNDINAMARCA PARA EL PERIODO 2007 – 2014.

MULTITEMPORAL STUDY TO DETERMINING CHANGES IN LANDCOVERS IN A DEFINED POLYGON OF 50 ROUTE IN SECTION 5 “EL ROSAL – EL VINO” OF CUNDINAMARCA FOR THE PERIOD OF 2007 – 2014.

Sandra Marcela Ríos Olaya
Ingeniera Civil. Profesional de Proyectos Especiales
Empresas Públicas de Cundinamarca SA ESP
Bogotá D.C.
geomatica.umng@gmail.com

RESUMEN

En el año de 1994, el Instituto Nacional de Vías, hoy INVIAS, contrató la Concesión 447 con la Concesión Sabana Occidente, para la realización de las actividades de elaboración de estudios, diseños definitivos, obras de rehabilitación, construcción, operación y el mantenimiento de la carretera Bogotá - Villeta, denominada Ruta 50, del Departamento de Cundinamarca, lo que generó cambios en las coberturas especialmente al área aferente al eje vial. Haciendo uso de las herramientas geomáticas se logró la verificación de cambios en las coberturas mediante la elaboración de un estudio multitemporal entre los años 2007 y 2014.

ABSTRACT

In 1994, the National Institute of Road, today INVIAS, signed the contract No 447 with the Concesión Sabana Occidente, for studies, definitive design, civil works and rehabilitation, operation and maintenance of Bogota – Villeta road called 50 route of Cundinamarca Department, that led to the changes in land covers, especially in afferent area of road corridor. With the use of geomatics tools, it allows obtain verification of land covers changes through of multitemporal study between years 2007 y 2014.

PALABRAS CLAVE: Estudio multitemporal, teledetección, clasificación supervisada.

KEYWORDS: multi-temporal study, remote sensing, supervised classification.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
INTRODUCCION



De acuerdo con la última modificación solicitada por la Concesión de la Sabana Occidente ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA de la licencia ambiental para diseñar, rehabilitar, construir operar y mantener la ruta 50, aprobada bajo resolución 578 del 23 de Julio de 2012, se presentaron diseño de detalle, estudios de la zona, estudios de impacto ambiental, información que ha sido la base para el presente análisis.

En éste trabajo se aborda el análisis de los cambios en las coberturas en razón a los cambios del perfil vial de autopista a autopista doble calzada, la actividad de minería extractiva de materiales pétreos existente en la zona que ha permitido desarrollar las obras de infraestructura y el manejo de las zonas de inestabilidad dentro del tramo 5 comprendido entre El Rosal (Km 22+000) Reten del Vino (Km 30+900) y del área de influencia, utilizando las herramientas geomáticas.

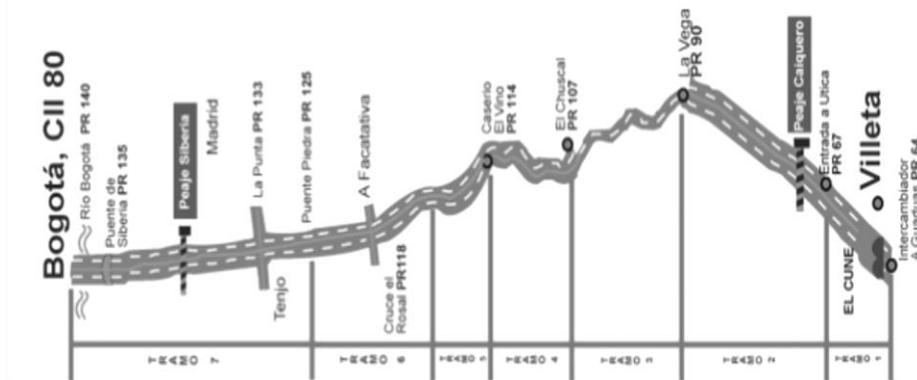


Ilustración 1: Modelo conceptual eje vial Bogota – Villeta

Fuente: <http://facatativa-cundinamarca.gov.co/noticias.shtml?apc=Cnxx-1-&x=2626368>.
(Octubre 2014)

Este proyecto por parte de la Concesión Sabana Occidente, se ha conceptualizado en trayectos de vía más cortos, definidos como tramo y cada tramo está definido y georeferenciado acorde a las necesidades de la entidad que opera el eje vial.

1.1. PRELIMINARES

Dentro de la revisión bibliográfica, para recopilar antecedentes y definir el modelo conceptual del área de estudio, seleccionado en el tramo 5, se recopiló la ficha técnica presentada en el portal del INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES hoy de denominado AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA ANI. Esta ficha establece información básica y relevante de que fue rediseñado en el tramo 5, de la doble calzada entre El Rosal - El Vino, es importante señalar que allí se advierten algunas dificultades relacionadas con la inestabilidad del talud dentro del subtramo 5.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

Tabla 1. Ficha general de concesiones

Trayecto	Sub tramo	Tipo de Intervención	Cantidad	Unidad	Fecha de inicio de obra	Fecha de terminación de la obra	% de avance de obra
Sector 5: Doble calzada entre El Rosal - El Vino	Tramo 5	Construcción de segunda calzada y separador central	1	Km	05/04/2010	05/06/2012	100%
En el mes de Marzo de 2013 se presentó un deslizamiento repetitivo, de grandes proporciones, en el talud del costado sur, ante lo cual el Concesionario realizó estudios y diseños para estabilizar este sector; se realizó la construcción de una estructura tipo pantalla de cerca de 96 m de longitud, cimentado en 8 módulos de pilotes de 1.5 m de diámetro y de 11 m de profundidad, cada uno; se construyeron los pilotes de soporte y la viga de amarre, por módulos.							

Fuente: ANI. Septiembre 2013

El evento de deslizamiento referenciado en la tabla 1, durante el primer trimestre de 2013, generó cambios en el manejo geotécnico de un talud, como resultado de la aprobación por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, mediante la resolución 578 del 23 de Julio de 2012.

La selección del polígono de estudio, se basó en aspectos tales como la existencia de estudios técnicos en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, mediante el Concepto Técnico No 885 de 2012, dentro de expediente 4684, que responde a la solicitud de modificación de licencia ambiental No 539 de marzo de 2010, que derivó en la Resolución 578 del 23 de Julio de 2012 y en la verificación visual de cambios en las coberturas que se han presentado dentro de la ejecución de las actividades aprobadas en el área de aferencia al eje vial y la existencia de documentación primaria del área de estudio de fuentes tales como la Gobernación de Cundinamarca, Empresas Publicas de Cundinamarca S.A ESP, Instituto Agustín Codazzi IGAC, principalmente.

Con el propósito de acotar el análisis del tramo concesionado se propone el análisis de estudiar un área de 6.702 kilómetros cuadrados, dentro de los puntos de control definidos entre el sector El Rosal (Km 22+000) Reten del Vino (Km 30+900), ubicados dentro de las siguientes coordenadas presentadas en la tabla 2.

Tabla 2. Extensión área de estudio

Sistema de coordenadas proyectadas: MAGNA_Colombia_Bogota		Proyección: Transverse_Mercator
	Superior: 1034403,08073 metro(s)	
Izquierda: 973164,497268 metro(s)	False_Easting: 1000000,000 False_Northing: 1000000,000 Central_Meridian: -74,07750792 Scale_Factor: 1,00000000 Latitude_Of_Origin: 4,59620042 Unidad Lineal: Meter	Derecha: 975708,417116 metro(s)
	Inferior: 1031769,58624 metro(s)	

Fuente: Argis 10.2

A continuación se presenta el área de estudio definida en la ilustración No 2, allí se demarca el eje vial concesionado dentro del tramo 5 de la ruta 50.



Ilustración 2. Foto satelital Geoeye_1 2014
Fuente: Google Earth 2014

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada entre los Municipios de la Vega en la vereda el Dintel, San Francisco en la vereda Sabaneta, Facatativá en la vereda Tierra Morada. Este polígono fue seleccionado dentro del trazado de la ruta 50 concesionada, teniendo en cuenta que la ejecución de obras para el año 2014 ya estaba en un 100%, así mismo porque se observaron cambios en las coberturas dentro del periodo de estudio.

Imágenes área (par estereoscópico)

Vuelo: 2801/2007 Fecha de toma: 03 de Febrero de 2007, con sensor: WILD 15/4 UAG-S, distancia focal 152.51 mm y escala :1:40230

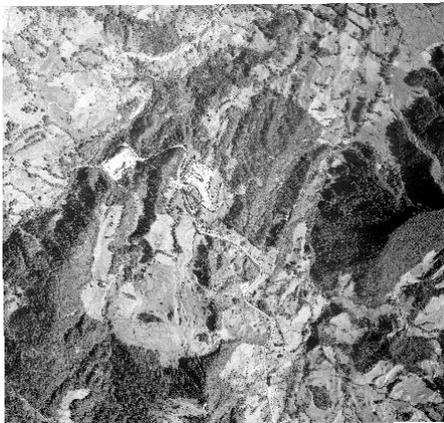


Foto aérea: 182



Foto aérea: 183

Fotografía 1. Fuente de información primaria
Fuente: Instituto Agustín Codazzi – IGAC

1.3 DESCRIPCIÓN DEL POLÍGONO DE ESTUDIO

A continuación se presenta la información seleccionada del área de estudio, con el fin de identificar aspectos relevantes que permitan guiar el análisis desde diferentes puntos de vista como geología, suelos, hidrología, geomorfología, información tomada de los planes maestros de cada uno de los Municipios y que se encuentra disponible para consulta en Empresas Publicas de Cundinamarca S.A ESP.

Es importante señalar que este polígono se genera por el traslape de las imágenes aéreas del año 2007, para generar el modelo digital del terreno. A continuación se presenta la ubicación geográfica y descriptiva del área de estudio:

Punto A. Centro poblado El Vino, Vereda Sabaneta – La Vega Cundinamarca: El centro poblado de El Vino, por encontrarse a lado y lado de la Autopista Medellín – Bogotá presenta alto tráfico vehicular considerable dado que tiene mejores condiciones operacionales que la Vía Bogotá – Villeta por la calle 13.



Fotografía 2. Vista Centro Poblado El Vino –
Municipio de La Vega
Fuente: Google Earth- 2014



Fotografía 3. Vista vereda Sabaneta
Municipio de San Francisco
Fuente: www.concesionsabana.com/index-3.htm

Punto B Vereda Sabaneta – Municipio de San Francisco Cundinamarca: La vereda Sabaneta se encuentra localizada al norte del municipio de Facatativá, limita al Norte con el Municipio de San Francisco; al sur con las veredas Tierra grata y paso ancho; al oriente con el Municipio de El Rosal y al Occidente con las Veredas Mancilla y Prado.

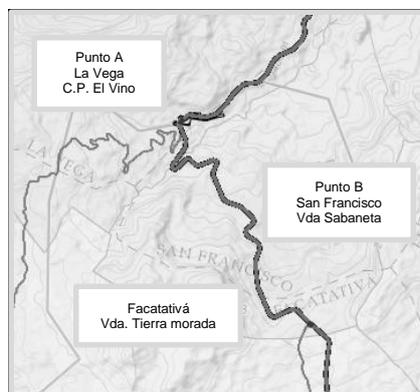


Ilustración 3 Recorte de zona de estudio
Fuente: Secretaría de Planeación de Cundinamarca
Elaboración propia



Los puntos relacionados en la tabla 3, se toman como puntos de control para generar el polígono.

Tabla 3. Puntos de control para genera polígono de estudio

Punto	Metros		Descripción/Fuente
A: Centro Poblado El Vino, Municipio de La Vega	974023,65	1033922.60	Pozo alcantarillado sanitario Plan maestro del Centro poblado el Vino. Empresas Publicas de Cundinamarca
B: Vereda Sabaneta, Municipio de San Francisco	975279,825	1031769,56	Eje vial cruce con modelo digital del terreno

Fuente: Empresas Publicas de Cundinamarca y levantamiento topográfico para diseño de tramo El Rosal – El Chuscal- 2014

1.3.1 Geología del área de estudio

El polígono señalado en la tabla 2, de acuerdo con un estudio adelantado en el año 1997 por el INGEOMINAS AIS, 1997, hoy día denominado Servicio Geológico Colombia SGC, define que ésta área se encuentra ubicado en una zona de amenaza sísmica intermedia. En general para el sector se presentan dos tipos de unidades geológicas que se agrupan en sedimentos y rocas con porosidad primaria de interés geológico y por rocas con porosidad primaria y secundaria de interés geológico. Como consecuencia de la variada estratigrafía en el área de estudio y el continuo plegamiento de la corteza, se presenta condiciones de tectónica de placas muy compleja, lo que se refleja en la deformación de la corteza, lo cual se puede verificar en las fallas de rumbo y cabalgamiento.

1.3.1.1 Unidades litoestratigráficas

Según la nomenclatura del Servicio Geológico Colombiano SGC, en el área de estudio, la estratigrafía observada corresponde a rocas formadas durante los periodos Cretáceo Superior y Medio, Terciario y Cuaternario, aflorando rocas sedimentarias de origen marino y continental. Los grupos y formaciones encontradas en el municipio de las más recientes a los más antiguos son: formación Sabana (Deposito Cuaternario), formación Guaduas y formación Guadalupe. (Ilustración 4).

La descripción de la zona corresponde a lo extractado al informe técnico 885 del 06 de Junio 2012, dentro del expediente dentro del expediente 4684 de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), para el proyecto CONSTRUCCION Y OPERACION DE LA SEGUNDA CALZADA ENTRE LOS PUNTOS EL ROSAL – EL VINO (tramo 05), este informe se recopila información del área de influencia del corredor vial, con respecto a la caracterización de acuerdo con los estudios geológicos regionales y reconocimiento de campo, que se presentan rocas del Cretáceo y Cretáceo – Terciario, las cuales se encuentran recubiertas por materiales depósito reciente.

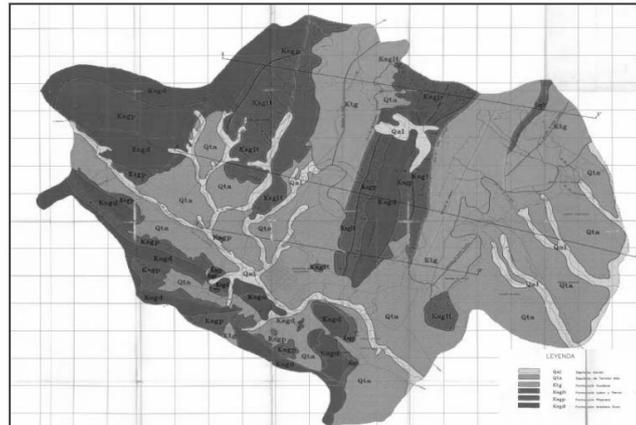


Ilustración 4. Mapa de unidades litoestratigráficas
Fuente: INGEOMINAS. Estudio hidrogeológico en la periferia de Bogotá. Plano I-2274.4

1.3.1.2 Geología estructural

Se destaca que en el área de estudio se presentan anticlinales y sinclinales sucesivos y simétricos, los cuales afectan principalmente las rocas de la formación Guaduas (Ktg). Las principales estructuras geológicas identificadas en el área son los sinclinales del El Vino, del Dintel y el anticlinal menor de la Cantera La Suiza, algunas de estructuras son truncadas por fallas de cabalgamiento o de tipo inverso.

1.3.1.3 Geomorfología

La morfología del tramo de estudio, tiene una morfología montañosa con laderas naturales con cambios de pendiente de bajas a altas que asociado a las unidades geológicas existentes, generan un patrón de drenaje dendrítico denso, asociado extensos coluviones, en algunos casos con cauces rectilíneos con control estructural en niveles de roca con valles trechos con forma de “V”. Los procesos erosivos se presentan en sectores de suelos residuales y coluvión, además se presentan cárcavas en áreas en donde se ha perdido la cobertura vegetal, así mismo se observa varios fenómenos inestables que varían desde desprendimientos puntuales de suelo residual y coluvión hasta deslizamientos que han afectado el corredor vial.

1.3.1.4 Características geotécnicas del subsuelo

De acuerdo a los estudios y exploración realizada para la modificación de la licencia ambiental, se informa que durante la realización de los análisis de suelos se logró diferenciar tres unidades básicas de materiales, basados en la realización de sondeo eléctrico vertical y perforación S-1:

- *Los depósitos de suelos orgánico y residual (Qso+Qsr)*
Este material se encontró con espesor de hasta 3.0 metros, con las siguientes características acorde a Sistema Unificado de Clasificación (USCS): Limos de baja plasticidad (ML), Arcillas de baja plasticidad (CL) de



color habano, humedad natural entre 13% y 25% y numero de golpes en el ensayo de penetración varía entre 3 y 9 golpes/pie.

- *Deposito coluvial (QFg)*
Este material se encontró con espesor de 10 metros hasta 20 metros, con las siguientes características acorde a Sistema Unificado de Clasificación (USCS): Gravas en matrices arcilloarenosas (GC) y gravas pobremente gradadas en matrices limosas (GP-GM).
- *Formaciones rocosas (Rs+Rf)*
Se determinó el contacto entre el depósito coluvial y la formación, al inicio de este estrato se encuentra la roca meteorizada, pero a medida que se profundiza, se encuentra la roca más competente.

1.3.1.4 Suelos

Se encuentran suelos con aptitud forestal y a cobertura está constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbóreos, regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas discontinuos con alturas de 5 a 15 metros, denominada Bosque Abierto Bajo de Tierra Firme, acorde con la clasificación definida en la metodología CORINE Land Cover.

1.3.1.5 Paisaje

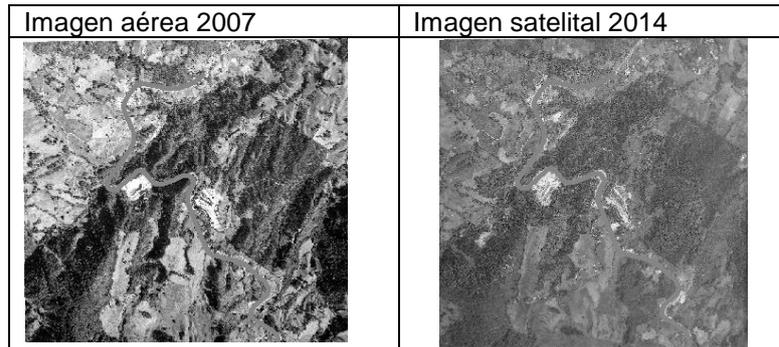
En el área de estudio el elemento predominante es la vegetación arbórea y complementada por especies de plantas epifitas y helechos que aportan al área un aspecto de conservación, sin embargo la alteración antrópica del paisaje, se observa áreas de intervención, que dan lugar a las especies de eucaliptus plantados o naturalizados y a vegetación de tipo arbustivo de especies pioneras e invasoras.

2. MATERIALES Y METODOS

El área de estudio definido en la tabla 1, es analizada por medio de imágenes aéreas, que fueron tomadas en el mes de Febrero del año 2007, periodo en el cual aún no iniciaban obras de construcción de la Autopista Bogotá Villeta y una imagen satelital del año 2014. A partir de esta información, se realiza un análisis para detectar los cambios en las coberturas. Como el estudio se establecen por medio del análisis multitemporal de eventos, que es una técnica para la detección de cambios, según se transformen los rasgos espectrales o espaciales en diferentes épocas, las técnicas empleadas en organizan en dos grandes categorías, según utilicen imágenes continuas o categorizadas (Eastman, 1994).

El Análisis Multitemporal permitirá determinar los cambios sucedidos en el período estudiado, para las diferentes coberturas identificadas en el estudio. El enfoque del análisis multitemporal de coberturas del polígono referenciado, trata de determinar los cambios producidos entre dos fechas de referencia con el propósito de observar la dinámica de cambio [2], en la misma zona definida.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSGRADOS



Fotografía 4. Imágenes para realizar el análisis multitemporal
(Izq. Foto Aérea, Der. Satelital)

2.1 METODOLOGÍA UTILIZADA

Con el propósito de reflejar los cambios generados en el polígono definido para estudio, se propone establecer la metodología en la ilustración 5.

- a. **Selección de polígono de estudio:** La definición del polígono de estudio, para este caso se basa en los cambios en las coberturas como consecuencia directa de las obras de ampliación del eje vial y la actividad minera existente en el sector. La zona de estudio, se escogió estratégicamente para los propósitos del presente trabajo por la cercanía con la Capital de Colombia, lo cual genera un impacto directo sobre las zonas productoras y comercializadoras de productos agrícolas, del mismo modo, ésta área presenta un historial de derrumbes y cierres de vía que han impactado negativamente en la comunidad, adicionalmente en el sector se encuentra una fuente de materiales que ha permitido avanzar con las obras de infraestructura vial y de contención de taludes, lo que ha generado impacto visual de las obras construidas y cambio de las coberturas en un periodo corto de tiempo.
- b. **Revisión bibliográfica:** Etapa que busca recopilar antecedentes para definir el modelo conceptual del estudio. Parte de la información recopilada proviene de la Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P., Gobernación de Cundinamarca, el INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES hoy de denominado AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA ANI, así mismo se verifica en el portal de la Concesión Sabana Occidente. [3]
- c. **Recopilación de información cartográfica:** La selección de imágenes aéreas y satelitales de la zona de estudio, acorde al periodo de estudio. Las imágenes seleccionadas forman un par estereoscópico que se traslapan en el 60% entre ellas, lo que permite llevar a cabo la generación del modelo digital del terreno, las zonas que se superponen generan un polígono de 6.702 kilómetros cuadrados.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

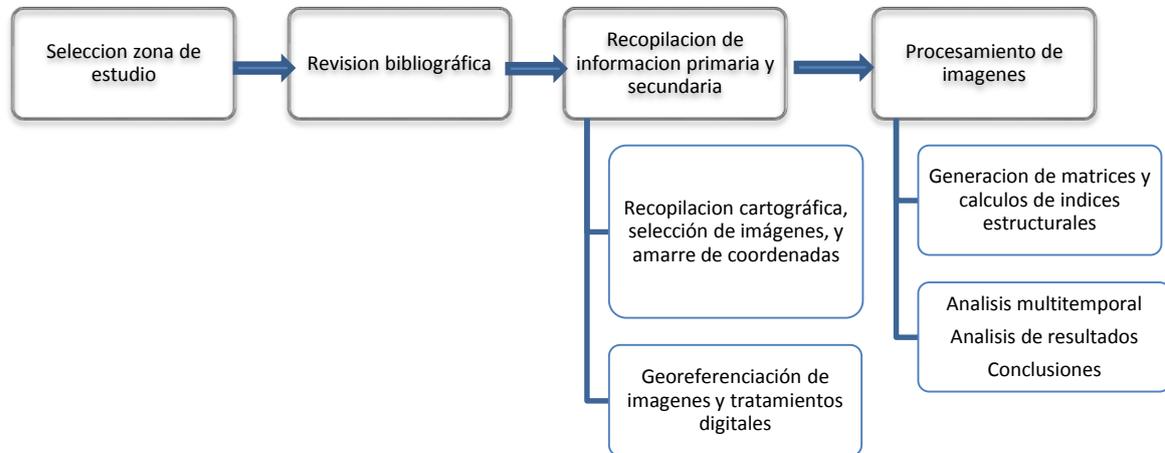
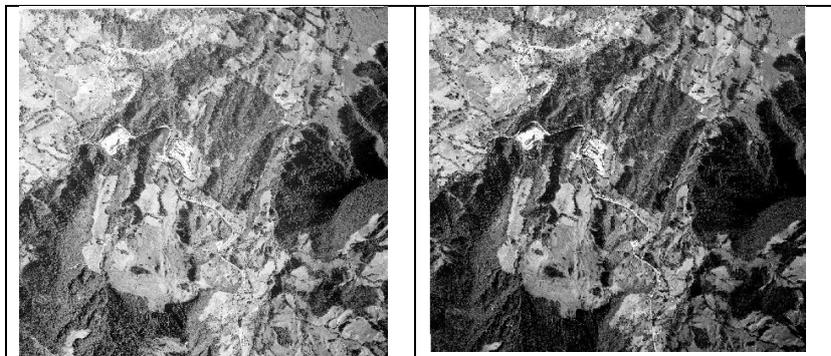


Ilustración 5. Esquema metodológico general
Fuente: Notas personales

Esta área al encontrarse a cada lado del eje vial facilita el reconocimiento de patrones y cambios en el área de estudio definida en la fotografías 5.



Fotografías 5. Imágenes aéreas Vuelo C-2801-182 y 183
Fuente: Instituto Agustín Codazzi IGAC

- d. **Recopilación de información topográfica:** esta actividad se basa en la información existente del levantamiento topográfico y amarre de coordenadas para georeferenciar polígono de estudio. La información topográfica, provienen del diseño para la CONSTRUCCION DE LA DOBLE CALZADA PUENTE PIEDRA – EL VINO – LA VEGA – VILLETA, realizado por la CONCESIÓN SABANA OCCIDENTE. Este aspecto se recopila con el levantamiento topográfico con amarre a puntos certificados del Instituto Agustín Codazzi IGAC, los diferentes trabajos de campo y procesamiento de la información recopilada dan como resultado el Trazado y Diseño Geométrico.

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

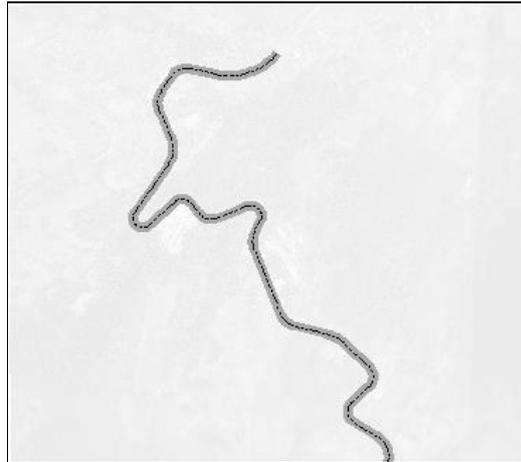


Ilustración 6: Esquema del trazado y diseño Geométrico
Doble Calzada Puente Piedra – El Vino – La Vega – Villeta - 2014
Fuente: Concesión Sabana Occidente

Las principales coordenadas recopiladas para la definición del polígono de estudio, son las siguientes:

Tabla 4. Puntos de control en eje vial

PI #	ABSCISA	NORTE	ESTE	AZIMUT	DISTANCIA
BOP	22+540.00000	1028347.29453	977943.41083	NA305.2156	73.98745
PT	31+917.99073	1034050.02545	974178.37264		
RP	N/A	1033964.77428	974161.01642		

Fuente. Diseño geométrico Doble Calzada Puente Piedra – El Vino – La Vega – Villeta
Año 2014

e. Georeferenciación de las imágenes y tratamientos digitales

Las coordenadas del proyecto, se toman del levantamiento topográfico de cada uno de los puntos extremos del tramo 5 y puntos intermedios del corredor vial cada 10 a 20 metros y posteriormente se cruza las áreas de traslapo de las imágenes aéreas y satelital, previamente georeferenciadas.

El resultado de la georeferenciación y los tratamientos digitales, es la base para dar inicio a la fase de procesamiento de las imágenes, superposición de coberturas de área de estudio.



Fotografía 6: Satelital: Geoeye_1 2014 y levantamiento topográfico diseño vial
Fuente: Googleearth 2014 - ANLA

f. Procesamiento de imágenes, superposición de coberturas en periodo de estudio

El procesamiento de cada una de las imágenes se les aplicó funciones de mejoramiento que facilitarán la delimitación de las coberturas presentes en el área de estudio. La metodología para el procesamiento de imágenes se propone mediante la siguiente ilustración:

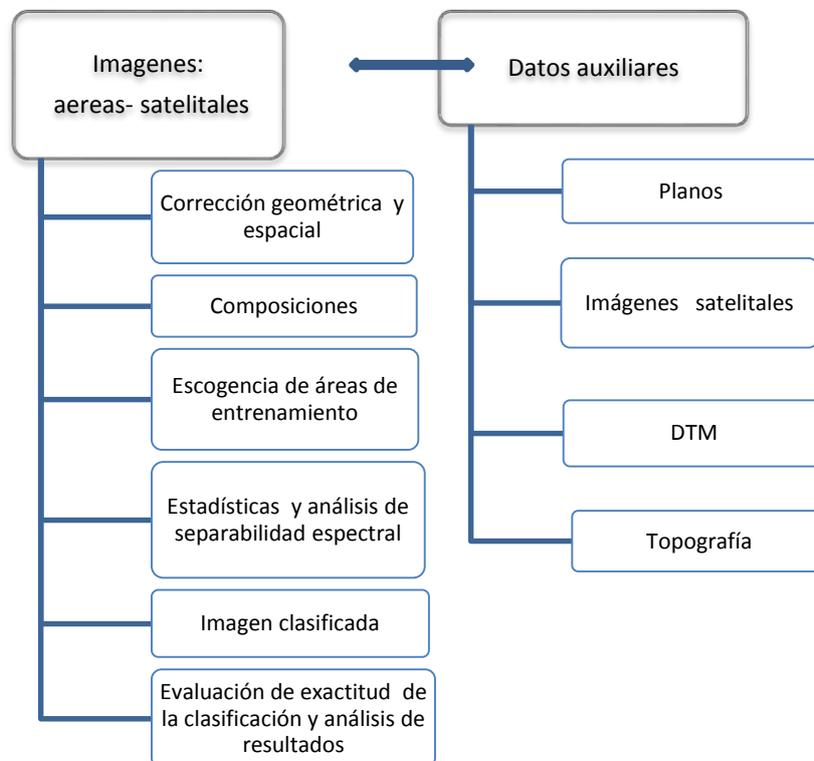
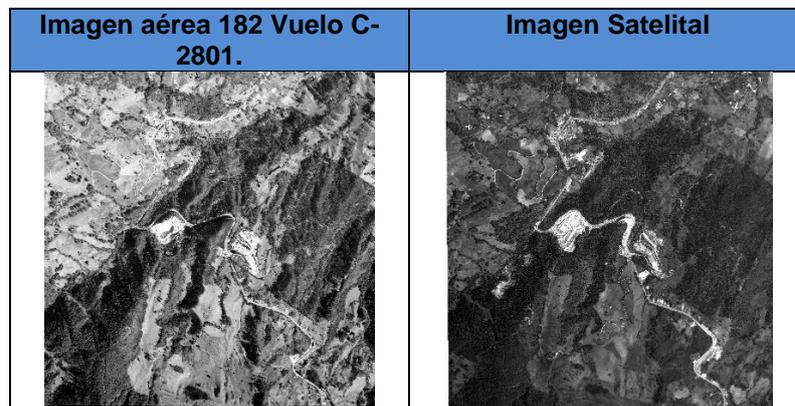


Ilustración 7. Esquema metodológico de trabajo con imágenes y datos auxiliares
Fuente: Notas personales

Se observa una mejora sustancial para discriminar las coberturas presentes en el área. Este procesamiento contó con la corrección geométrica y espacial propuesta en el esquema de trabajo presentado en la ilustración 7.

La corrección de la geometría [5] de estas distorsiones geométricas puede ser lograda mediante remuestreo de la imagen, esto significa que una imagen digital geoméricamente distorsionada, es transformada a una fotografía sobre una cuadrícula no distorsionada igualmente espaciada. Los valores de intensidad de los píxeles de la cuadrícula derivada, deben de ser determinados por interpolación utilizando píxeles vecinos de la imagen distorsionada, (Ver fotografía 7).

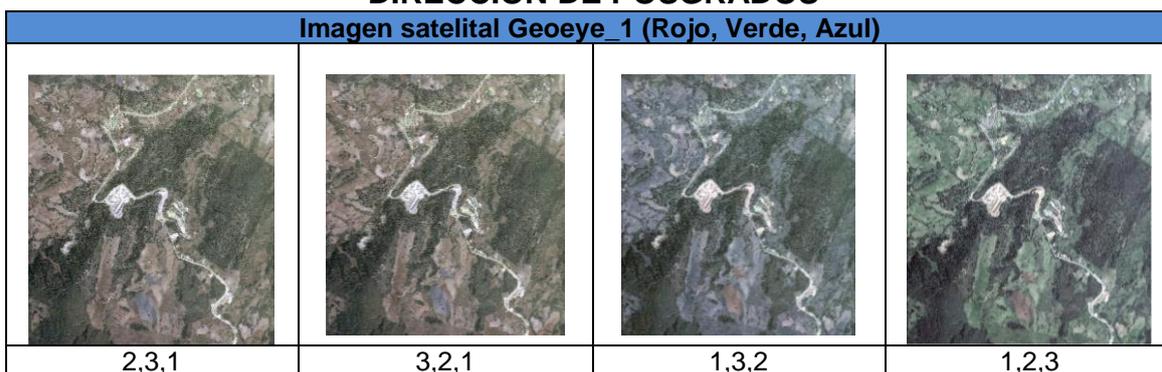
El proceso de corrección espacial se realiza con la aplicación de filtro de paso bajo, con el propósito de suavizar los contrastes espaciales de las imágenes. El mejoramiento de las imágenes debe garantizar que las dos imágenes sean equiparables en relación a los niveles digitales que dependen entre otras del nivel de iluminación y del sensor.



Fotografía 7. Imágenes aérea y satelital con procesamiento
Fuente: Elaboración propia

Las composiciones de la imagen multiespectral de Geoeye_1 que se probaron son las presentadas en la fotografía 8. Con las composiciones, se busca seleccionar una de éstas, que se considere óptima para los propósitos de diferenciación de las diferentes coberturas. La composición seleccionada para realizar la clasificación fue la composición 1, 3, 2.

Posteriormente es importante definir el número de coberturas acorde a las necesidades del estudio, teniendo en cuenta la metodología CORINE LAND COVER y de acuerdo al enfoque del estudio.



Fotografía 8. Composiciones realizadas

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al área de estudio y los cambios observados en la misma, se propone revisar las siguientes clases de coberturas, teniendo en cuenta el enfoque del presente estudio y dada la complejidad de separar las clases de Tejido Urbano Discontinuo, Estructura Vial y extracción minera, porque provienen de la misma fuente de materiales existente en el área de estudio, genera dificultad para su delimitación entre estas coberturas, por lo cual se propone las siguientes clases, para iniciar el proceso de clasificación.

Tabla 5. Clases seleccionadas para clasificación supervisada

Clase	Código	Abreviación	Definición
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3.1.2.	Bfvs	Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales con evidencia de intervención humana aunque que mantienen su estructura original. Se pueden dar la ocurrencia de áreas completamente transformadas en el interior de la cobertura, originando parches donde hubo presencia de coberturas antrópicas como pastos y cultivos pero que han sido abandonadas para dar paso a un proceso de regeneración natural del bosque en los primeros estados de sucesión vegetal. Los parches de intervención deben representar entre el 5% y el 50% del total de la unidad.
Mosaicos de pastos y cultivos	2.4.2	Mopc	Es una unidad que comprende una asociación de pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.
Vegetación secundaria o en transición	3.2.3	Vstr	Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se origina luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrollan en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.
Minería - Tejido Urbano Discontinuo – estructura vial(*)	Sin	N-A	Son espacios conformados por áreas, edificaciones discontinuas, vías e infraestructura construida que cubren artificialmente la superficie del terreno de manera continua o dispersa.

Fuente: SIATAC.GOV.CO [6]

(*) Cobertura no incluida en la metodología CORINE LAND COVER ajustada para presente estudio.

Los métodos tradicionales de clasificación involucran dos alternativas: el método no supervisado y el supervisado. El método no supervisado crea agrupamientos espectrales o clústeres en el cual se asocia una clase temática a cada uno de los grupos que se clasificó, es decir se basan en la búsqueda de clases con suficiente separabilidad espectral como para conseguir diferenciar unos elementos de otros.

De otro lado el método de clasificación supervisada está enfocado en la clasificación que realiza el software a manera de entrenamiento recopilados por el profesional, previo conocimiento de las áreas a clasificar. Para éste análisis se aplica el algoritmo de clasificación de máxima verosimilitud. Las áreas entrenamiento en cada una de las imágenes se definió en una nube de puntos similar para cada imagen, como se observa en la ilustración 10.

El análisis de separabilidad espectral consiste en calcular el nivel digital medio y la desviación estándar para cada clase, para lo cual se genera el archivo de firmas espectrales para cada una de las imágenes con los resultados presentados en los anexos.

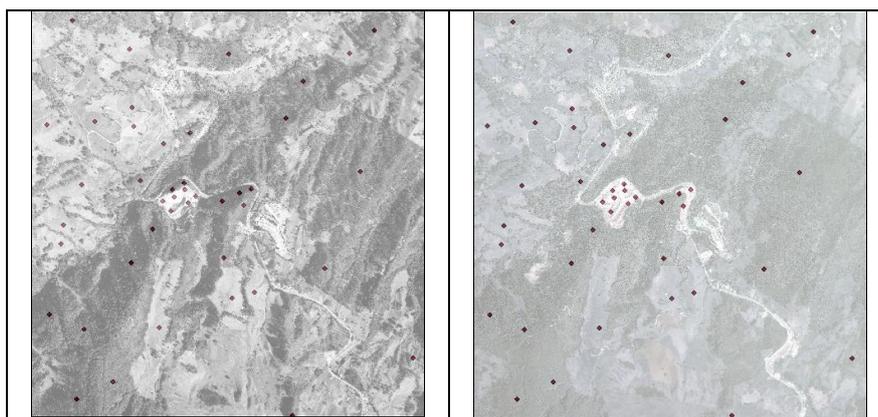


Ilustración 8. Nube de puntos seleccionados para las clases definidas en imágenes aéreas y satelital

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de implementar la firma espectral a cada imagen y cada ráster por separado se obtiene las imágenes clasificadas.

Una vez realizado el procesamiento de las imágenes, se presenta los mapas temáticos en donde se observan los cambios en las coberturas, según la metodología de clasificación de coberturas aplicada, allí se observa de modo cualitativo los cambios presente en el sector seleccionado en el área comprendida de 6.702 kilómetros cuadrados.

Para verificar la exactitud de la clasificación se procede a calcular las matrices de confusión para cada uno de los años, que busca cuantificar la correspondencia entre la cobertura asignada a un píxel y la clasificación a la que pertenece en la realidad, a ello se le denomina exactitud del mapa.

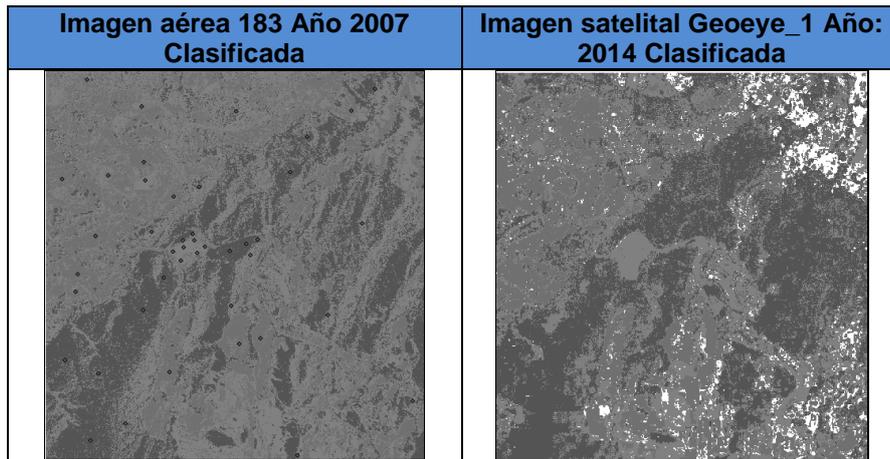


Ilustración 9. Imágenes clasificadas con algoritmo de máxima verosimilitud
Fuente: Elaboración propia

La imagen Geoeye_1 una vez clasificada con relación a la clase Minería -Tejido Urbano Discontinuo – estructura vial aledaña a la vía, se observan cambios significativos que serán cuantificados posteriormente.

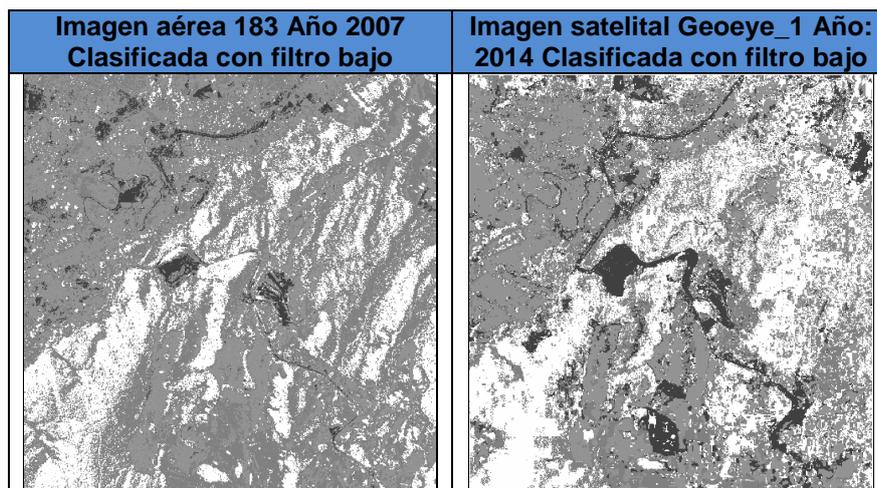


Ilustración 10. Imágenes clasificadas con filtro de paso bajo
Elaboración propia

El error de omisión, corresponde cuando un píxel que pertenece a determinada categoría, no fue clasificado en dicha categoría (un faltante). Por su parte el error de comisión, resulta cuando un píxel está clasificado en una categoría y en realidad pertenece a otra (un exceso).

El interés de esta tabla de confusión proviene de su capacidad para plasmar conflictos entre categorías. De esta forma no solo conocemos la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud conseguida para cada una de las clases, así como los principales conflictos entre ellas. [7]



Tabla 6. Matriz de confusión - Imagen aérea 2007

Coberturas	a	b	c	d	Total	Exactitud del mapa	Error comisión
a	19				19	100%	0%
b		12	1		13	92.3%	7,6%
c			4	1	5	80%	20%
d				8	8	100%	0%
Total	19	12	5	7	45		
Exactitud de campo %	100%	100%	80%	86%		43	
Error de Omisión	0%	0%	20%	14%			

Fuente: Formato IntelSIG- Informe Final y elaboración Propia

- a: Bosque fragmentado con vegetación secundaria
- b: Mosaicos de pastos y cultivos
- c: Vegetación secundaria o en transición
- d: Minería -Tejido Urbano Discontinuo – estructura vial

Tabla 7. Matriz de confusión – Imagen satelital 2014

Coberturas	a	b	c	d	Total	Exactitud mapa	Error comisión
a	8		2		10	80,0%	20,0%
b		12	1		13	92,3%	7,7%
c			8		8	100,0%	0%
d				15	15	100,0%	0%
Total	8	12	11	15	46		
Exactitud de campo %	100%	100%	72,3%	100%		43	
Error de Omisión	0%	0%	33%	0%			

Fuente: Idem

Al analizar la clasificación de la imagen del año 2007, se observa que los pixeles ubicados en la diagonal principal, 43 de 45 pixeles han sido correspondientes con la clasificación, ello corresponde al 95,55% y la clasificación de la imagen del año 2014, 43 de 46 pixeles han sido correspondientes con la clasificación, ello corresponde al 93,47%, con lo cual se puede determinar que tienen alta fiabilidad las clasificaciones realizadas.



A continuación se generan las matrices y cálculos de índices estructurales para cada una de las clasificaciones realizadas y se procede a realizar análisis e resultados:

Tabla 8. Matriz de resultados de clasificación foto aérea año 2007- 2014

Clase	(m ²) 2007	% Cobertura 2007	(m ²) 2014	% Cobertura 2014	(+/-)	Perdida (-) Ganancia (+)
a	2.114.055	32%	3.124.511	47%	1.757.904	(+)
b	1.632.753	24%	1.428.028	21%	318.043	(-)
c	2.592.299	39%	1.384.847	21%	2.257.389	(-)
d	363.824	5%	765.545	11%	817.528	(+)
	6.702.931					

Fuente: Resultados de ArcGis 10.2.

Análisis de resultados

Se observa para el año 2007, en el polígono estudio, de acuerdo a las coberturas definidas en éste análisis, que predominaba la vegetación secundaria, correspondiente a aquella cobertura vegetal y son zonas desmontadas para diferentes usos en áreas agrícolas abandonadas.

La clasificación de Minería -Tejido Urbano Discontinuo – estructura vial, se agrupó teniendo en cuenta la dinámica de desarrollo de la actividad minera y la fuente de material existente en el polígono de estudio, que al momento de clasificar la imagen en clases tales como minería, tejido urbano discontinuo y estructura vial generan gran confusión, por tener la misma fuente de materiales, pues producen la misma respuesta espectral y por razones del alcance del estudio, se sintetizó estos componentes en una sola clase. Una vez clasificada se observa que el área clasificada en esta categoría corresponde al 5%.

Revisados los resultados de la clasificación para la imagen satelital Geoeye_1 del año 2014, se observan cambios que muestran reducción en la coberturas especialmente de clase de Vegetación secundaria o en transición con un cambio del 18%, significativo teniendo en cuenta que según la definición de la tabla 5, corresponde a aquella que se origina luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria y no presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.

Un aspecto a resaltar es el hecho de que la actividad minera asociada a la cobertura Minería -Tejido Urbano Discontinuo – estructura vial, presentó incremento del 6% en un periodo de siete años, con impactos positivos y negativos, que corresponden al manejo de las zonas inestables, que por años generaron impactos sobre a movilidad y conectividad de los centros productores agrícolas con los centros de comercialización, la ampliación de la autopista nacional doble calzada que impacto positivamente en la calidad del servicios vial y el incremento de la producción minera, que ha sido la fuente de materiales para llevar a cabos las



obras que han sido necesarias para obtener los resultados actuales. El análisis y resumen de las matrices se presentan la tabla 8, allí se presentan los cambios presentados en cada una de las clases dentro del periodo de estudio.

3. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES RELACIONADAS CON LOS MATERIALES Y METODO

El análisis de procesos de cambio de coberturas realizado con herramienta geomáticas, facilitan los procesos de recopilación, captura y análisis de la información existente, es así como los resultados obtenidos guardan un alto grado de congruencia demostrando de forma cuantitativa los cambios presentados y sus posibles consecuencias en el entorno, por lo cual un estudio de éstas características resulta imprescindible para la planeación, formulación de proyectos y toma de decisiones en corto y largo plazo, con el fin de establecer políticas de desarrollo rural, ambiental y estructural que requieran los territorios.

El mejoramiento visual de las imágenes, entendido como la aplicación de filtros para el mejoramiento visual, permite que la clasificación de las clúster definidos sea adecuada acorde al alcance y propósitos del estudio, por su parte el conocimiento del territorio y la experticia del intérprete, garantizarán que los resultados obtenidos del análisis multitemporal, estén ajustados a la realidad del proceso analizado.

La comparación entre registros fotográficos de dos años distintos, permiten realizar análisis cuantitativo y cualitativos de los cambios sobre coberturas o fenómenos naturales, lo que facilitar la interpretación y análisis de los resultados obtenidos.

Para realizar una clasificación con indicadores altos de fiabilidad en los resultados de la matriz de confusión, se requiere conocer los procesos a analizar y conocer el terreno de estudio, con el propósito de proponer acorde al alcance del trabajo, el clúster de clases y de ésta manera evitar la mezcla entre ellas, lo que conlleva a errores en la clasificación y como consecuencia a la interpretación de datos y análisis de resultados.

El reconocimiento de patrones puros puede ser una de las claves para la obtención de resultados de fiabilidad de la clasificación teniendo en cuenta que para el entrenamiento del software, se requiere la experticia del profesional que lleva a cabo la clasificación de las imágenes, lo cual mejora resultados. El criterio de organizar las clases corresponderá al reconocimiento y recopilación de la información primaria y secundaria, que se disponga, sin desconocer el alcance del estudio.



CONCLUSIONES RELACIONADAS CON EL ANALISIS MULTITEMPORAL Y LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En el periodo 2007 y 2014, en el polígono de estudio que incluye el área aferente del parte del tramo 5 de la ruta 50 de Cundinamarca se ha generado cambios de gran impacto en las estructuras de comunicación, manejo de taludes, en el K31+015 a K31+105, sentido Bogotá – Villeta, en dicho tramo se cambió el ángulo de reposo del talud y la construcción de terrazas intermedias, lo que cambió la cobertura en este sector de vegetación secundaria o en transición a minería -tejido urbano discontinuo – estructura vial, acorde a los grupos clasificados.

Otro resultado obtenido del presente análisis que es importante señalar es el incremento del área de explotación minera en la Cantera La Suiza, allí se observa en el año 2007, que la actividad minera ya estaba en desarrollo, sin embargo en el año 2014, las áreas de explotación han incrementado, lo cual se debe en gran medida a la explotación de material pétreo que se ha destinado entre otras para el desarrollo y mantenimiento de la estructura vial.

Queda expuesto que los cambios introducidos en el área de influencia del eje vial denominado ruta 50, de la vía Nacional Bogotá - Villeta en el tramo 5, dentro del polígono de estudio han generado cambios en las coberturas, lo que sugiere impactos ambientales, sociales y económicos en las zonas productoras, que deben ser consideradas y analizadas en otros estudios.

REFERENCIAS

- [1] GEOEYE-1: THE WORLD'S HIGHEST RESOLUTION COMMERCIAL EARTH-IMAGING SATELLITE. En <http://www.geosoluciones.cl/documentos/geoeye/GeoEye-1-Fact-Sheet.pdf> (Noviembre 2014)
- [2] Chuvieco E.,(1996). Fundamentos de Teledetección espacial. Madrid: Ediciones. RIALP. S.A. 312-313 p.
- [3] LO ULTIMO EN CONSTRUCCION. (Noviembre 2014) En:<http://www.concesionsabana.com/>
- [4] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Estudios y diseños de la troncal 26 avenida 3° - Aeropuerto el Dorado – Avenida osé Celestino Mutis). En: <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/31823/1/60013122-07.pdf> (Noviembre de 2014).
- [5] DEPARTAMENTO DE PESCA. Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas. En <http://www.fao.org/docrep/003/t0355s/T0355S06.htm> (Octubre de 2014)
- [6] INSTITUTO AMAZONICO DE INVESTIGACIONES SINCHI. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Fichas técnicas de los patrones de las coberturas de la tierra de la Amazonia colombiana. En: http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=8dfce45c-685b-458b-b096-5d96728d0933&groupId=762 (Noviembre de 2014)
- [7] METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES APLICABLE A NIVEL SUBNACIONAL PARA LOS PAÍSES MIEMBROS DEL CCAD: BELICE, COSTA RICA, EL SALVADOR, GUATEMALA, HONDURAS, NICARAGUA, PANAMÁ, REPÚBLICA DOMINICANA, (REDD– GTZ)

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

En: http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_1441494642.pdf. (Diciembre de 2014).

