ELABORACION DE LA CAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ-CUNDINAMARCA, CON LA FINALIDAD DE GENERAR UNA HERRAMIENTA DE PLANIFICACION, MEDIANTE EL USO DE TELEDETECCION, IMÁGENES DE SATELITE Y SOFTWARE ERDAS IMAGINE Y QGIS VERSION 3.4.

Ingeniera Catastral y Geodesta

Nohora Isabel Ariza Pérez

Universidad Militar Nueva Granada

Especialización en Geomática

Bogotá D.C.

2018

Artículo de aplicación para optar al título de Especialista en Geomática

ESPECIALIZACION EN GEOMATICA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

ELABORACION DE LA CAPA DE COBERTURAS DE LA TIERRA DEL MUNICIPIO DE CAJICÁ-CUNDINAMARCA, CON LA FINALIDAD DE GENERAR UNA HERRAMIENTA DE PLANIFICACION, MEDIANTE EL USO DE TELEDETECCION ESPACIAL, IMÁGENES DE SATELITE Y SOFTWARE ERDAS IMAGINE Y QGIS.

Resumen - *El presente documento consiste en la generación de la capa de coberturas de la tierra del Municipio de Cajicá – Cundinamarca, muy cercano a la ciudad de Bogotá D.C. Se pretende proporcionar al municipio una herramienta que le permita conocer con exactitud las coberturas de la tierra que sobre él se encuentran, dada la vertiginosa dinámica de cambio debida al impacto de los procesos de expansión urbana ocurridos en la capital, al igual que en los municipios vecinos, en el corredor formado por ésta y por los municipios que hacia el norte se despliegan, haciendo de Cajicá una ciudad dormitorio que ha respondido en su dinámica al fenómeno transformador.*

De este modo, este aspecto que se puede vislumbrar intuitivamente, se comprueba mediante el uso de la teledetección espacial, a partir de la utilización de dos imágenes de satélite, la primera de ellas Sentinel y la segunda Spot, y un shape de municipios descargado de la web IDECA, cuya fuente primaria es el IGAC. Se ha delimitado geográficamente el municipio de Cajicá con la finalidad de, mediante el procesamiento de una de estas dos imágenes, con la utilización del proceso de clasificación supervisada y verificación con ayuda de la segunda imagen, generar la capa de cobertura de la tierra del municipio al 24 de enero de 2018, fecha de toma de la imagen.

Se pretende que dicho producto pueda ser tenido en cuenta como uno de los elementos en la toma de decisiones, e insumo en la elaboración y el cumplimiento de políticas públicas, objetivos, estrategias y programas enfocados hacia el desarrollo regional y la armonización entre el Plan de desarrollo y el PBOT del municipio (PBOT Cajicá-2014), y de igual manera, según sus resultados positivos pueda ser replicado en los diferentes municipios del país.

Palabras Clave – *Coberturas de la tierra, Imagen de Satélite, Clasificación Supervisada, Municipio de Cajicá, Planeación, Expansión Urbana.*

I. INTRODUCCION

Con el paso de los años, las ciudades en Colombia se han convertido en grandes urbes, con un vertiginoso crecimiento demográfico y por lo mismo en su infraestructura, desbordando límites existentes y sobrepasando los imaginados y previstos en el pasado.

También ha ocurrido este fenómeno de expansión con los municipios, que hoy, por su cercanía a la ciudad de Bogotá D.C., y por el impacto de todas sus interrelaciones con ella, han sufrido un desbordamiento impredecible que ha generado cambios de

manera rápida en los usos y coberturas del suelo.

Asimismo, conforme a esa tendencia cambiante, también ha sido necesario adaptar la manera de administrar y los mecanismos utilizados para ello. Se ha llevado a cabo un proceso de desarrollo de herramientas e instrumentos de planificación en pro de utilizar los recursos de forma racional, buscando su optimización y el llegar al mejor esquema para el ordenamiento de los territorios.

Es así que, la Ley 388 de 1997, concerniente al Ordenamiento Territorial, contempla en su artículo 1° iteral 2, como uno de sus objetivos *el "…establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes"(subrayado fuera de texto).*

Para ello, se ha hecho imprescindible la incorporación de herramientas tecnológicas que permitan generar productos que le sirvan al administrador para gobernar de manera acertada, el mejor aprovechamiento de los recursos y como una fuente muy importante para dirimir los conflictos que se van generando en el cubrimiento de las necesidades de los habitantes.

Estos últimos por su parte, también encuentran en las herramientas geomáticas la manera de conocer la información geográfica de su municipio, visualizándola, analizándola y logrando una visión de su territorio que va mucho más allá de lo empírico o de la simple observación, que actúan desde diferentes instancias y pueden ejercer control sobre las decisiones que al respecto son tomadas y que afectan directamente sus intereses.

Esta información geográfica cobra cada vez más importancia desde los diferentes ámbitos de la sociedad y es reconocido este hecho por las autoridades en la materia, quienes destacan su relevancia en la educación desde temprana edad, tal como fue evidente en el *Informe Participación Ciudadana y Rendición de Cuentas IGAC - 2017* presentado en enero de 2018, en donde su director, al respecto de una Jornada de *"Sensibilización sobre la importancia del conocimiento de la Geografía Colombiana"* realizada los días 29 y 30 de marzo de 2017 en la ciudad de Tunja, afirmó lo siguiente:

"Desde la enseñanza de la geografía y cartografía de Colombia, el IGAC contribuye al futuro de la educación de los niños. Desde 2014 decidimos llegarles a los más pequeños con actividades sencillas y divertidas enmarcadas en el conocimiento geográfico, el cual debe ser reforzado en cada uno de los planteles educativos". (subrayado fuera de texto).

Y no menos importante es el hecho de poder aplicar estas técnicas que ya se encuentran en nuestras manos y a las cuales

se tiene cada vez mayor acceso, en cada uno de los ámbitos del desarrollo de nuestro país y en sus diferentes contextos. Por ello, surge la motivación de desarrollar, mediante técnicas geomáticas, un producto que muestre claramente cuáles son las coberturas de la tierra existentes en el municipio de Cajicá, a una escala razonable que permita una toma de decisiones acertada, acorde y en conjunto con los instrumentos de planeación existentes como el Plan de desarrollo y el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, en este caso específico.

Cabe destacar en este contexto, que una de las conclusiones del autor Emilio Chuvieco Salinero en su trabajo de doctorado "**Aportaciones de la Teledetección Espacial a la Cartografía de Ocupación del Suelo"** en 1984, fue el hecho de que *"…Es posible realizar comparaciones entre los datos obtenidos mediante clasificación digital de imágenes y las estadísticas oficiales: la Teledetección, por tanto, puede ofrecernos también un importante complemento de información catastral."*

Ya entrando en materia, es requerimiento indispensable el puntualizar a cerca de los fundamentos bajo los cuales se rigen las herramientas Geomáticas a utilizar, en la determinación de dichas coberturas de la tierra, ésto es, la Teledetección, la cual es definida como *"…aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre"* (Chuvieco, E. 1990)

Y en una definición más amplia, el **Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Madrid** se refiere a la Teledetección como *"…la técnica de observación remota de la superficie terrestre y de la atmósfera que la envuelve utilizando sensores capaces de captar la radiación electromagnética, reflejada o emitida. Incluye el proceso de análisis de los datos para su posterior transformación en magnitudes físicas."*

Pero en la amplia gama de definiciones del término Teledetección, también se incluyen otros elementos que la componen, desde diferentes ópticas; una de ellas, según el documento **"Mejora de los Sistemas de Cartografía del Territorio Colombiano"**[1] considera que un sistema de teledetección está compuesto por los siguientes seis (6) elementos:

1. Fuente de Energía: Es el emisor de la radiación electromagnética que llegará a la superficie terrestre y que posteriormente será detectada por el sensor. Puede ser el sol (como fuente natural) o el mismo sensor (como fuente artificial).

2. Cubierta Terrestre: Formada por distintas masas de vegetación, suelo, agua o infraestructura. Esta recibe la radiación electromagnética proveniente de la fuente de energía (1), y la refleja o emite de acuerdo a sus características físicas.

[1] IGAC, CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), UNION EUROPEA, Mejora de los Sistemas de Cartografía del Territorio Colombiano, Guajira - Rioacha, 2007.

3. Sistema Sensor: Constituido por el sensor mismo y la plataforma que lo sustenta. El sistema tiene como función captar la energía emitida por la cubierta terrestre, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

4. Sistema de recepción y comercialización: este sistema recibe la información transmitida por la plataforma y la guarda en un formato específico y apropiado. Posterior a las correcciones necesarias, se distribuye a los interesados.

5. Intérprete o Analista: Es la persona encargada de clasificar y analizar la información contenida en la imagen para generar información temática.

6. Usuario Final: Es quien finalmente recibirá y utilizará la información ya procesada por el analista para fines específicos.

Este sistema se refleja de la siguiente manera:

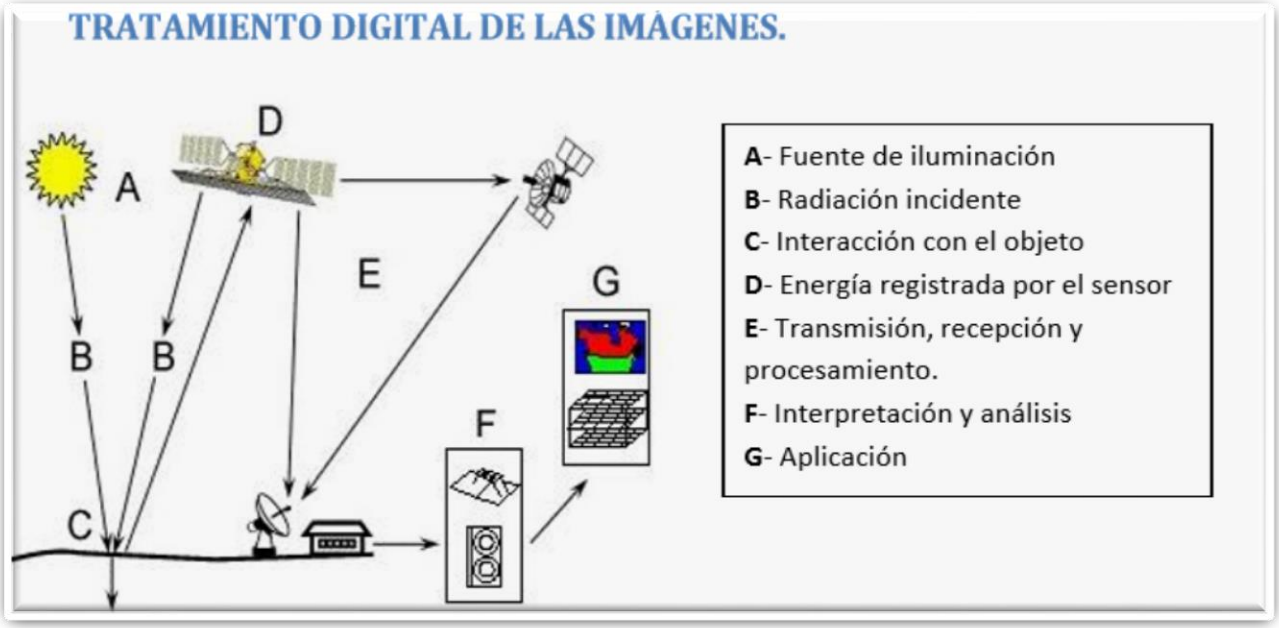


Figura 1. *Sistema conformado en los Sensores Remotos.*
Fuente: Gestión de Recursos *Naturales y Patrimonio Natural*[2].

[2] Gestión de Recursos Naturales y Patrimonio Natural. Sensores Remotos y Aplicaciones en Teledetección. Departamento de Innovación y Tecnología - Proyecto SAMBA. 2016.

En este orden de ideas, para la determinación de las coberturas de la tierra se toma como insumo, la imagen obtenida en este sistema, para luego ser procesada.

Es importante mencionar que las imágenes de satélite tienen características específicas que son determinantes en su análisis y procesamiento.

Tales características hacen referencia a los tipos de resolución de cada imagen en particular, como se puede ver en el siguiente cuadro:

Tipo de Resolución	Características
Resolución espacial	Medida de la distancia angular o linear más pequeña que puede captar un sensor en la superficie de la tierra, representada por un pixel.
Resolución espectral	Tamaño y número de intervalos de longitud de onda especifica del espectro Electromagnético (EM) que puede ser detectado por un sensor.
Resolución radiométrica	Define la sensibilidad de un detector a las diferencias de fuerza de la señal detectada.
Resolución temporal	Define la frecuencia con que un satélite puede obtener imágenes de satélite puede obtener imágenes de un área en particular.

Figura 2. Resolución de un Sensor Remoto
***Fuente*: SENSORES REMOTOS Y APLICACIONES EN TELEDETECCIÓN**[3]

El procedimiento utilizado en este caso para el análisis y procesamiento de la imagen de satélite se conoce como Clasificación Supervisada. Este proceso se basa en la toma de unas áreas de muestra llamadas Zonas de Entrenamiento, las cuales generarán posteriormente las categorías de coberturas de la tierra existentes en la zona de estudio, con base en la firma espectral que tiene cada uno de los elementos que se encuentran sobre la superficie terrestre y que son registrados en la imagen, ésto es, clasificar los pixeles según su respuesta espectral[4].

Las Zonas de Entrenamiento son básicamente la definición de patrones o características específicas que definen una

[3] SENSORES REMOTOS Y APLICACIONES EN TELEDETECCIÓN. Dpto. Innovación y Tecnología - Proyecto SAMBA (INPROHUELVA) – ONU-GE-2012

[4] IGAC, CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), UNION EUROPEA, Mejora de los Sistemas de Cartografía del Territorio Colombiano, Guajira - Rioacha, 2007.

determinada cobertura y que permiten la clasificación de diferentes áreas dentro de una misma categoría.

Una vez definidos estos patrones para cada categoría se procede a tomar áreas de cada una de las categorías encontradas en un territorio específico y es así como por medio de cada categoría de definen los rangos de ND (Niveles Digitales), como bien se menciona en el documento **Mejora de los Sistemas de Cartografía del Territorio Colombiano**, en donde dice que *"una categoría no es definida por un solo ND, sino por un conjunto de ND, más o menos próximos entre si".*

Por tratarse de un tema estadístico, también es un requerimiento fundamental que el muestreo realizado, es decir, la cantidad de muestras o Zonas de Entrenamiento tomadas por categoría sean verdaderamente representativas para que el resultado a obtener sea confiable, lo que hace indispensable el tener un conocimiento previo de la zona que se va a estudiar, para poder así garantizar esa suficiencia (IGAC, CIAT, UNION EUROPEA, 2007).

Según el **Manual de Percepción Remota con el Programa ERDAS IMAGINE** en su capítulo de **Elaboración del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra mediante Clasificacion Digital,** en ésta se realiza un *"proceso de conversión de una imagen continua a otra categorizada temáticamente, a partir de agrupación de los niveles digitales espectralmente similares."*

Existen dos métodos de clasificación digital de las imágenes de satélite: supervisado y no supervisado. El primero de ellos, como se define en el mencionado manual, consiste en *"la elección de las bandas espectrales de la imagen a clasificar, definición de numero de clases espectrales, selección de los criterios de similitud y algoritmos de agrupación de los ND"* y no precisa para su aplicacion de conocimiento previo a cerca de las clases de cobertura de la tierra de la zona de studio.

Por el contrario, la Clasificación Supervisada si require conocimiento previo de la zona sobre la cual se determinarán las coberturas de la tierra, ya que este conocimiento determina de manera fundamental las zonas de entrenamiento y por ende las clases de cobertura que se habrán de definir, mediante el uso de un algoritmo de clasificación, el cual *"…en su primera fase, estudiará las celdas de las capas de entrada que caen dentro de los polígonos de cada clase, y con sus valores tratará de definir los rasgos generales de esas clases que permitirán identificar clases similares en otros puntos.*"(Olaya, 2014).

Este algoritmo de clasificación lo que hace es calcular los parámetros estadísticos de cada banda para cada uno de los puntos seleccionados, y posteriormente hace la correspondiente evaluación de cada uno de los Niveles Digitales (ND) de la imagen, estableciendo comparaciones e incorporando dentro de una clase determinada (Posada, 2014), es decir, realiza una *"agrupación de todos los píxeles de cada banda espectral a*

uno de las clases predeterminadas en la etapa anterior" (Posada, 2014).

El resultado que se obtiene finalmente es una nueva imagen con características similares en su estructura y también en el tamaño de la original en la cual *"…los ND están categorizados en clases temáticas y la cual se considera como un mapa digital formato raster."* (Posada, 2014).

Estas clases temáticas corresponden, para el objetivo del caso en estudio, a la clasificación de las coberturas de la tierra utilizada en la versión de la Metodología de Corine Land Cover europea adaptada para Colombia.

El proceso de adaptación inició con un proyecto "elaboración del Mapa de Coberturas de la Tierra de la Cuenca Magdalena-Cauca" [5] trabajado entre los años 2004 y 2007, escala 1:100.000 , el cual fue desarrollado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Cormagdalena (Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena).

Luego se hizo la adaptación para el resto del país con la participación de diferentes entidades como el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) entre otras, para llegar a concluir en esta adaptación llamada "LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia".

II. AREA DEL PROYECTO

El área sobre la cual fue determinada la capa de coberturas de la tierra, corresponde al municipio de Cajicá, en el departamento de Cundinamarca, siendo ésta una zona de sabana, ubicada al norte de Bogotá D. C., a una distancia aproximada de 39 km. dentro de la provincia Sabana Centro. Limita al norte con el municipio de Zipaquirá; al sur con el municipio de Chía; al occidente con el municipio de Tabio y al oriente, con el municipio de Sopó.

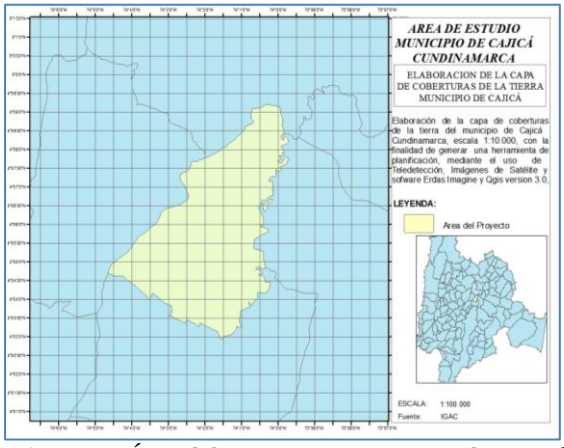


Figura 3. *Área del Proyecto – Municipio de Cajicá.*
***Fuente*:** Elaboración propia.

[5] IDEAM. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C., 2010, 72p.

III. METODOLOGIA

Se pretende realizar la determinación de la capa de coberturas de la tierra del municipio de Cajicá mediante el seguimiento de las actividades que se plantean a continuación.

1. Revisión bibliográfica.

Esta revisión consistió en un recorrido por el material disponible a cerca del tema en los diferentes repositorios de información, locales, nacionales y extranjeros, a fin de puntualizar el conocimiento requerido, con relación a la información existente de la zona de estudio así como estudios anteriores realizados en el mismo sentido.

Adicionalmente, se evaluaron las diferentes herramientas a utilizar, definiendo las más adecuadas en la determinación de las coberturas de la tierra para el municipio de Cajicá.

2. Definición y obtención de la cartografía base y delimitación del área de estudio:

De acuerdo con el objetivo, fue necesario definir una cartografía específica que permitiera la delimitación de la zona de estudio. Esta fue obtenida del Geoportal de Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) cuya fuente para este nivel de información es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Se utilizó la capa de municipios de Colombia de la cual se extrajo el shape con el perímetro del municipio de Cajicá mediante el uso de ArcMap y se procedió a determinar gráficamente el área de estudio sobre la imagen de satélite que se tomó como base para el procesamiento de imágenes posterior, y que se describe en el punto siguiente.

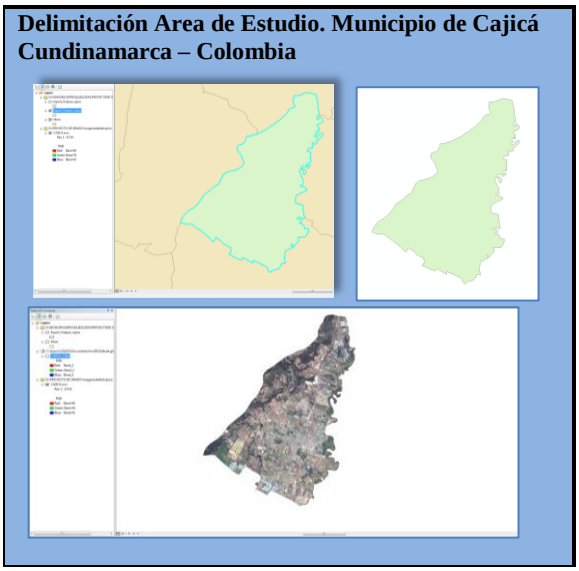


Figura 4. *Delimitación Area de Estudio*
Fuente: *Elaboración propia*

3. Definición y obtención de las imágenes de satélite a utilizar:

En esta actividad se incluye la búsqueda y posterior descarga en diferentes portales, de imágenes de satélite correspondientes a la zona de estudio, o que la incluyan, analizando su calidad, resolución, características en cuanto a su potencial por el

porcentaje de nubosidad, seleccionando aquella o aquellas que por sus características permitan alcanzar los objetivos propuestos.

La búsqueda se llevó a cabo en diferentes portales, pero el procedimiento de descarga de las imágenes finalmente se realizó en la página web EarthExplorer. Se obtuvieron dos imágenes, una Landsat 7 y una Sentinel, de las cuales se hizo la búsqueda con los parámetros determinados conforme al objetivo planteado, siendo éstos la resolución espacial, la zona específica del área en estudio, la temporalidad, ésta última lo más actualizada posible.

Las imágenes seleccionadas fueron las siguientes:

ESPECIFICACIONES	IMAGEN 1	IMAGEN 2
Sensor	*SPOT 7	** SENTINEL
Resolución Espacial	1.5 m	10mx10m
Resolución Espectral	4 Bandas	11 Bandas
Resolución Radiométrica	8 Bits	16 Bits
SCENE_ID	DS_SPOT7_2016012 81501586_FR1_FR1_ SE1_SE1_WO74N05_ 01952	S2B_MSIL1C_2018012 4T152629_N0206_R025 _T18NWL_20180124T20 2241.SAFE
Datum	WGS84	WGS84

Figura 5. *Especificaciones de las Imágenes de Satélite utilizadas.*
Fuente: **Imagen de satélite adquirida por la Universidad Militar Nueva Granada.*
***Earthexplorer, U.S.*

4. Procesamiento de imágenes

4.1 Labores preliminares de Procesamiento de las Imágenes Satelitales.

Inicialmente se debió realizar una preparación preliminar de las imágenes satelitales para su utilización, en el proceso llamado clasificación supervisada, mediante el uso de Software Erdas Imagine y QGIS, con los cuales se realizó el análisis de las firmas espectrales características de cada cobertura, así como el análisis de separabilidad de las mismas.

4.2 Definición preliminar de coberturas de la tierra a encontrar en la zona de estudio.

Este proceso consiste en analizar las imágenes con el fin de identificar e interpretar las coberturas presentes en ellas con relación a la zona de estudio, teniendo como base para ello el conocimiento previo de la misma, para lo cual se hizo investigación directa mediante verificación de campo y también se realizó investigación indirecta, recabando información de diferentes fuentes con el fin de lograr certeza a cerca de la forma como se ve en la imagen una categoría específica, saber a qué correspondía cada una de las coberturas vistas en la imagen, es decir, tener áreas de referencia y ubicando cada clase encontrada en el municipio de Cajicá conforme a la planteada en la ya mencionada metodología de Coberturas de la tierra de Corine Land Cover en su adaptación para Colombia.

4.3. Clasificación Supervisada.

4.3.1 Zonas de Entrenamiento

Se elaboraron las áreas de entrenamiento necesarias para hacer la debida clasificación supervisada mediante los programas Erdas Imagine 2015 y QGis versión 3.4.

Para ello fue necesario hacer uso de la información preliminar del municipio de Cajicá. Inicialmente se determinó el área de estudio sobre la imagen a clasificar, con respecto al shape del municipio, extraído de la cobertura de municipios descargada del portal de IDECA, disponible para descarga por la aplicación de la política de datos abiertos.

Una vez definida el área de estudio, se procedió a identificar sobre ella cada una de las categorías esperadas conforme al conocimiento previo de la zona de estudio y en concordancia con la clasificación de la Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.

Se generó una capa llamada AOI layer (areas of interest) en la cual fueron incluidas todas las muestras de todas las clases encontradas. Se determinó una cantidad de 8 muestras en promedio para cada clase, como se puede apreciar en las figuras 6 y 7 con los dos software ERDAS IMAGINE Y QGIS.

Figura 6. *Zonas de Entrenamiento definidas en Software ERDAS IMAGINE.*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

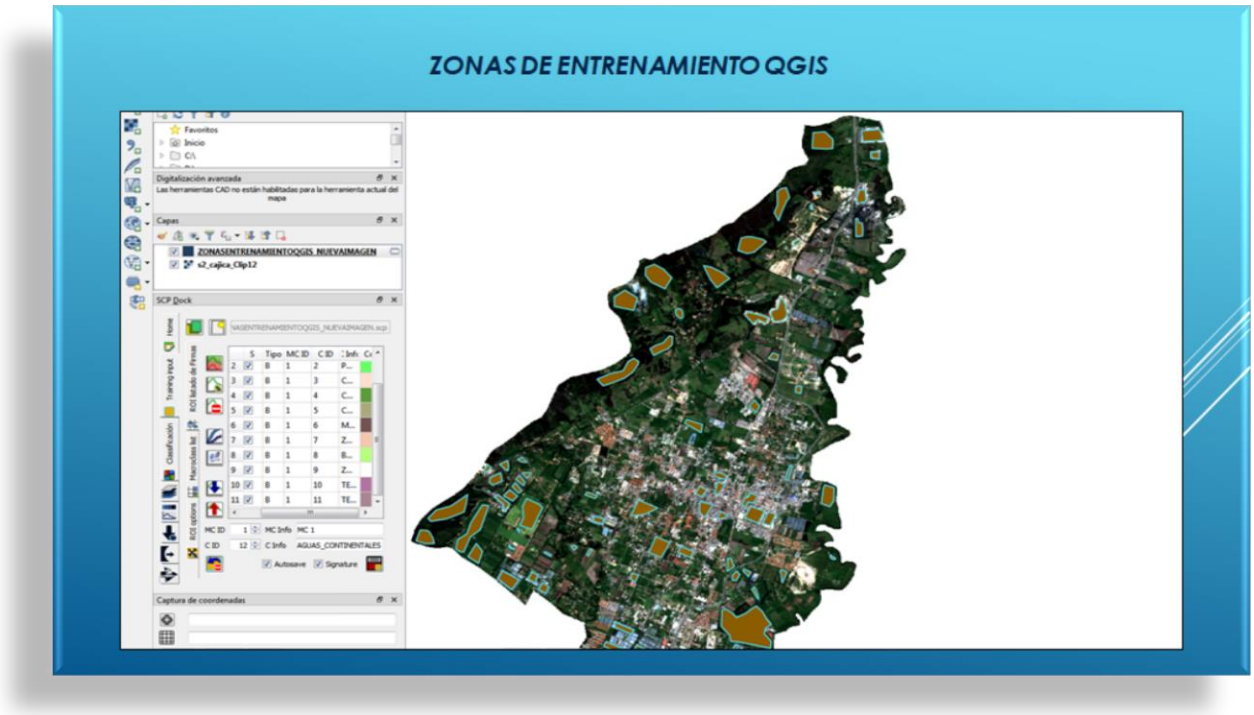


Figura 7. *Zonas de Entrenamiento definidas en Software QGIS.*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

4.3.2 Firmas Espectrales

Posteriormente, para el total de las muestras de todas las clases se evaluaron sus firmas espectrales, en el caso de Erdas Imagine mediante el análisis de separabilidad, como se puede apreciar en la figura 8.

Fue posible determinar la factibilidad de obtener un resultado confiable en la clasificación supervisada, para dar lugar a la cobertura final.

Para el caso de QGIS, se analizaron sus firmas con el fin de determinar que no se superpusieran y no generaran confusión. Ver figura 9.

Figura 8. *Análisis de Separabilidad realizado Software ERDAS IMAGINE.*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

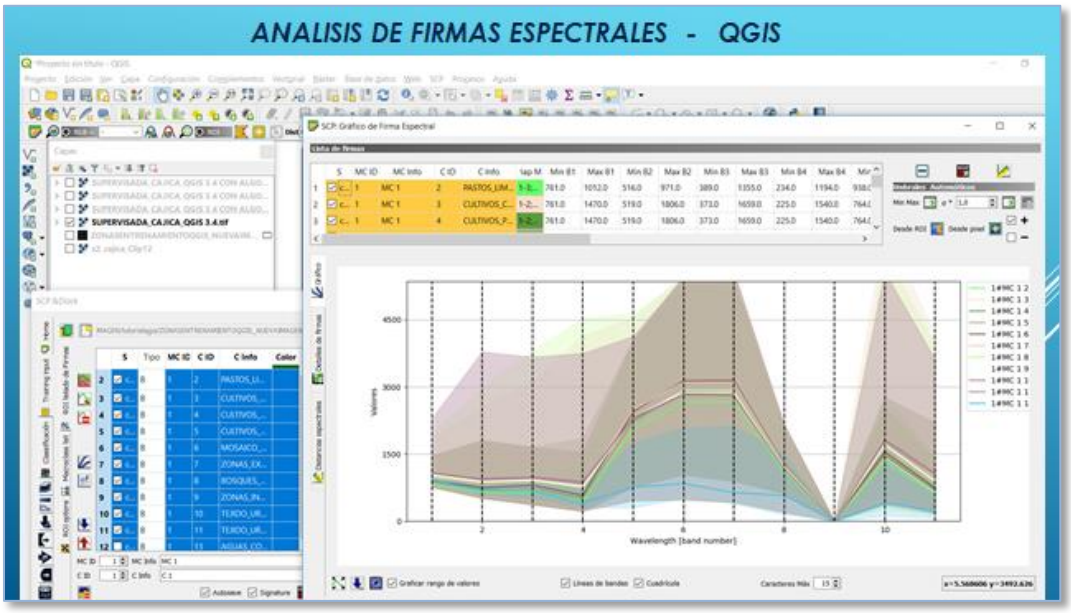


Figura 9. *Definición de firmas espectrales – Software QGIS.*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

4.3.3 Proceso de clasificación supervisada.

Una vez hecha la verificación de firmas espectrales se procedió a correr el proceso de clasificación supervisada en los dos software ERDAS IMAGINE y QGIS, que como ya se mencionó, se hace mediante un *"algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio piloto, para luego evaluar cada ND de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase"* (Posada, 2014).

Luego, ya definido el algoritmo de clasificación, el procedimiento se realizó de manera automática agrupando todos los píxeles de cada banda espectral, a la clase que le correspondiera según la categorización previa y se llevaron a cabo los correspondientes procesos posteriores de generalización.

IV. RESULTADOS

Como se planteó inicialmente, el procedimiento de Clasificación Supervisada se realizó mediante el uso de los dos software, QGIS y ERDAS IMAGINE, en sus versiones 3.4 y 2015 respectivamente.

En el caso de QGIS, aunque las firmas espectrales aparentaban un comportamiento en el cual no habría confusión entre las diferentes categorías, la realidad es que al realizar el proceso de clasificación supervisada, éste unió diferentes clases, es decir no logró hacer la correcta diferenciación entre cada una de ellas, haciendo unificación y reduciendo o generalizando indebidamente la información contenida en la imagen inicial.

Figura 10. *Resultado de Clasificación Supervisada Software QGIS. (algoritmo 1)*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

Esto ocurrió pese a que se definieron diferentes algoritmos, pues el resultado fue muy parecido; se obtuvo la unión de diferentes categorías y básicamente el proceso arrojó un resultado que de ningún modo se acerca a lo esperado, es decir, a las categorías definidas en las zonas de entrenamiento, y por tanto no es confiable.

Este resultado se puede apreciar en las imágenes 10 y 11, que muestran el resultado de la clasificación con dos algoritmos diferentes.

Figura 11. *Resultado de Clasificación Supervisada Software QGIS. (algoritmo 2)*
Fuente**:** *Elaboración propia*

Por otro lado, el procedimiento de Clasificación Supervisada realizado mediante el Software ERDAS IMAGINE arrojó un resultado muy diferente, como se ve en la siguiente figura:

Figura 12. *Resultado Inicial Clasificación Supervisada Software ERDAS IMAGINE 2015*
Fuente**:** *Elaboración propia*

En este procedimiento si se realizó correctamente la diferenciación de categorías, conforme a las esperadas, de acuerdo con las zonas de entrenamiento definidas, las cuales se basaron en la realidad de la zona de estudio, que había sido determinada con el conocimiento previo e investigación de fuentes indirectas.

De este modo, la clasificación obtenida es verificable y arroja como resultado las clases de cobertura de la tierra para el municipio de Cajicá planteadas inicialmente y que se ´pueden apreciar en la figura 14.

En este mismo software, Erdas Imagine, se utilizaron, una vez hecha la Clasificación Supervisada, los respectivos procesos de generalización para una mejor definición de cada cobertura. Inicialmente se aplicó el ***Filtro Neighborhood,*** el cual se usa para que las clases predominantes absorban los pixeles que quedan aislados, dando como resultado la imagen de la figura 15.

Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1		PLANTACIONES_FORESTALES		0.000	0.392	0.000	69	69	4545	1.000	✔	✔	✔	✔	
2	▶	PASTOS_LIMPIOS		0.350	0.667	0.333	1	70	5387	1.000	✔	✔	✔	✔	
3		CULTIVOS_CONFINADOS		0.824	0.706	0.549	2	71	3031	1.000	✔	✔	✔	✔	
4		CULTIVOS_PERMANENTES		0.575	0.630	0.150	3	72	923	1.000	✔	✔	✔	✔	
5		CULTIVOS_TRANSITORIOS		0.510	0.462	0.463	4	73	817	1.000	✔	✔	✔	✔	
6		ZONAS_EXPLOTACION_MINEF		1.000	0.936	0.856	6	75	2122	1.000	✔	✔	✔	✔	
7		BOSQUES_NATURALES		0.536	0.794	0.106	7	76	3523	1.000	✔	✔	✔	✔	
8		ZONAS_INDUSTRIALES		1.000	1.000	1.000	8	77	2114	1.000	✔	✔	✔	✔	
9		TEJIDO_URBANO_CONTINUO		0.794	0.738	0.787	9	78	3218	1.000	✔	✔	✔	✔	
10		TEJIDO_URBANO_DISCONTIN		0.619	0.598	0.598	10	79	4200	1.000	✔	✔	✔	✔	
11		AGUAS_CONTINENTALES		0.000	0.620	0.878	11	80	482	1.000	✔	✔	✔	✔	

Figura 13. *Clasificación de coberturas de la tierra. Municipio de Cajicá, Cundinamarca.*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

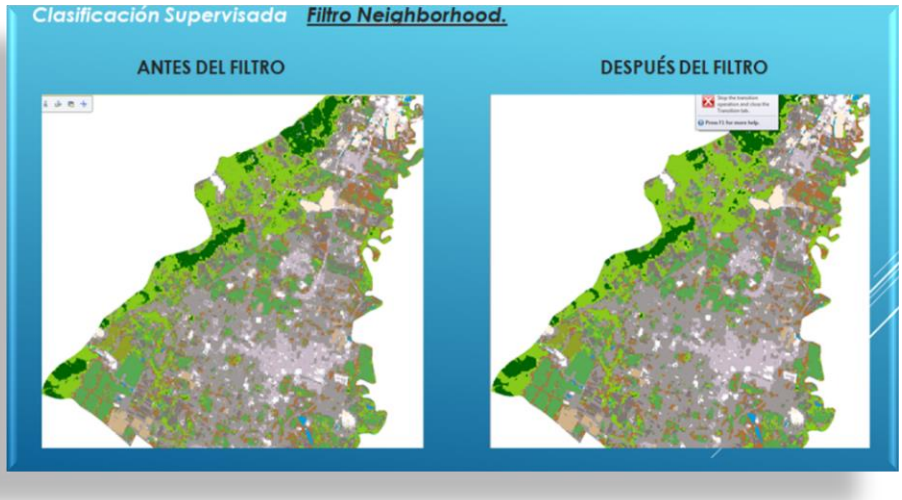


Figura 14. *Aplicación* ***Filtro Neighborhood****. Municipio de Cajicá, Cundinamarca.*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

Posteriormente se llevaron a cabo otros procesos de generalización a la imagen obtenida de la Clasificación Supervisada, el ***Filtro Clump,*** el cual agrupa pixeles vecinos con Niveles Digitales (intensidad Visual) iguales en una sola entidad, el ***Filtro Eliminate*** que elimina los polígonos pequeños uniéndolos a los más grandes. El resultado final se ve en la siguiente ilustración (figura 16):

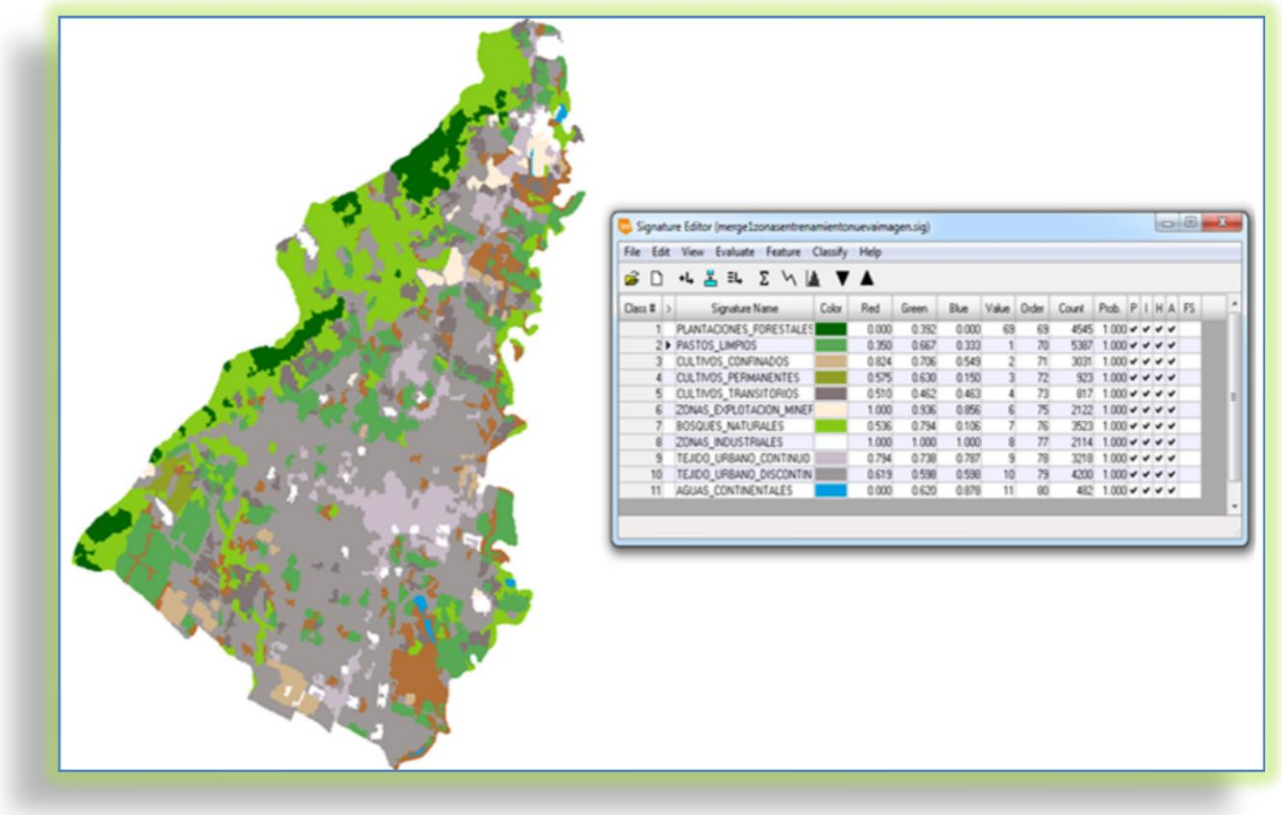


Figura 15. *Resultado final de la Clasificación Supervisada con Erdas Imagine*
Fuente**:** *Elaboración propia.*

En la verificación de resultados, conforme al conocimiento previo de la zona de estudio, se tuvieron en cuenta diferentes puntos verificados directamente en campo, con el fin de establecer la veracidad de la clasificación obtenida, la cual resultó ser en un alto grado confiable, dada su correspondencia verificada con la realidad.

Los ejemplos tomados se pueden ver en las siguientes figuras:

Figura 16. *Cobertura Zona de Extracción Minera y Cobertura Zona Industrial Comparación entre Clasificación Supervisada y realidad física - Erdas Imagine*
Fuente**:** *Elaboración propia*

En este ejemplo se verificó la cobertura Zona de Extracción Minera y la Cobertura Zona Industrial, las cuales efectivamente correspondieron en la Casificación Supervisada con lo que realmente se encuentra físicamente en el área de estudio.

En otras segunda y tercera muestra de comparación se tomaron puntos en donde la Cobertura encontrada corresponde a Cultivos Permanentes y también a Tejido Urbano Continuo, los cuales fueron verificados en campo y se pueden ver en las siguientes ilustraciones (figura 17 y figura 18):

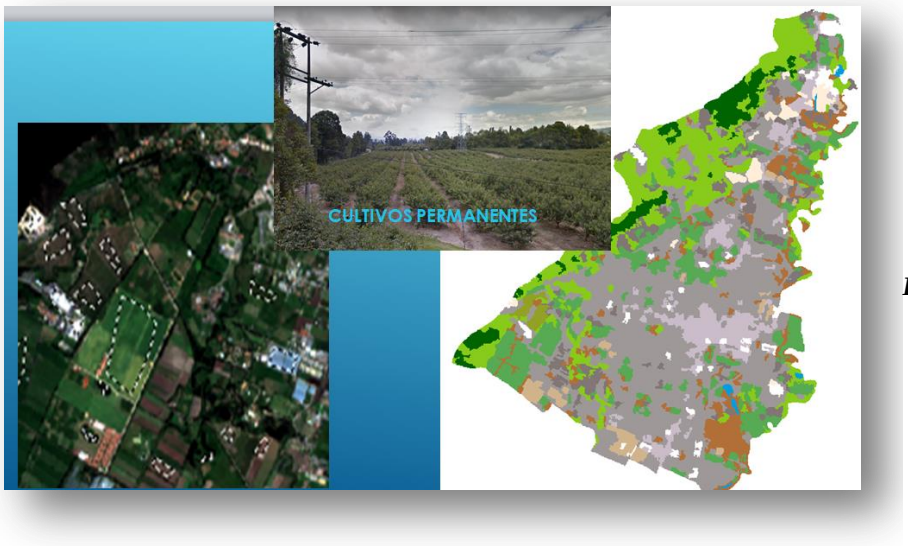


Figura 17. *Cobertura Cultivos Permanentes, Comparación entre Clasificación Supervisada y realidad física - Erdas Imagine*
Fuente**:** *Elaboración propia*

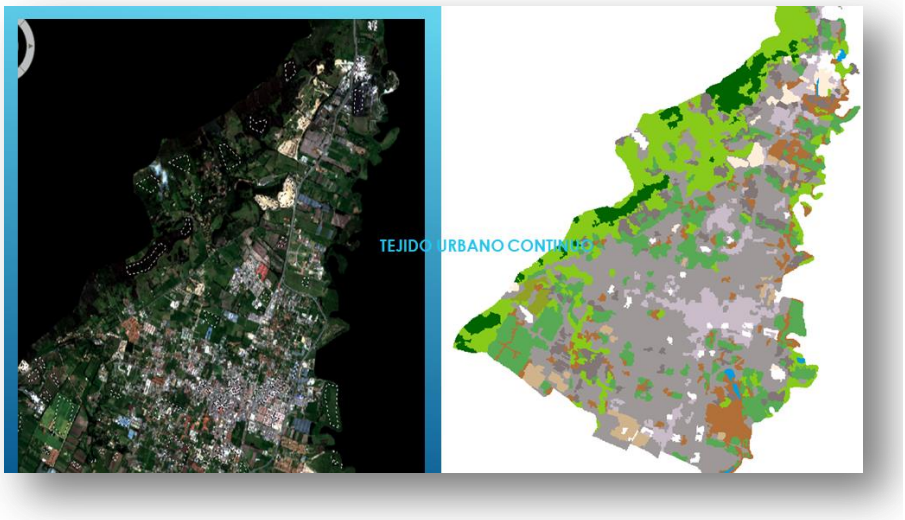
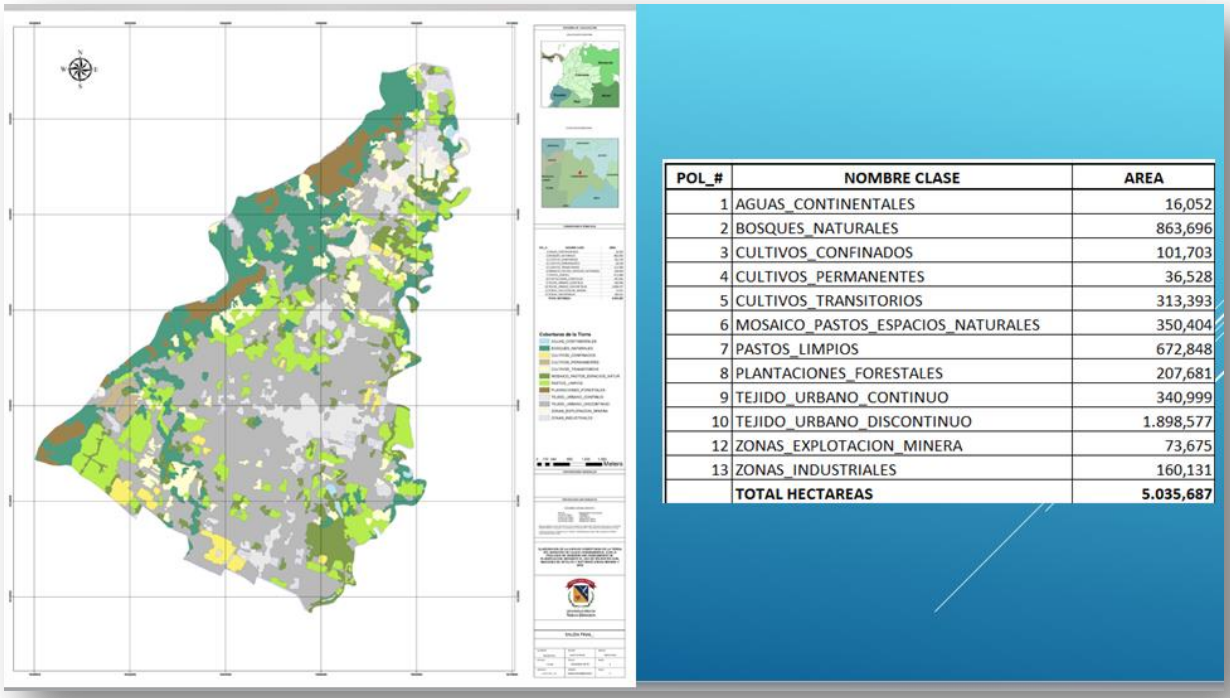


Figura 18. *Cobertura Tejido Urbano Continuo Comparación entre Clasificación Supervisada y realidad física - Erdas Imagine*
Fuente**:** *Elaboración propia*

Finalmente se realizó el cálculo de las áreas correspondientes a cada una de la Coberturas de la tierra resultantes del procedimiento de Clasificación Supervisada y el resultado obtenido se ve a continuación:



POL_#	NOMBRE CLASE	AREA
1	AGUAS_CONTINENTALES	16,052
2	BOSQUES_NATURALES	863,696
3	CULTIVOS_CONFINADOS	101,703
4	CULTIVOS_PERMANENTES	36,528
5	CULTIVOS_TRANSITORIOS	313,393
6	MOSAICO_PASTOS_ESPACIOS_NATURALES	350,404
7	PASTOS_LIMPIOS	672,848
8	PLANTACIONES_FORESTALES	207,681
9	TEJIDO_URBANO_CONTINUO	340,999
10	TEJIDO_URBANO_DISCONTINUO	1.898,577
12	ZONAS_EXPLOTACION_MINERA	73,675
13	ZONAS_INDUSTRIALES	160,131
	TOTAL HECTAREAS	**5.035,687**

Figura 19. *Clasificación Supervisada, Areas por clase.*
Municipio de Cajicá - Cundinamarca - Erdas Imagine
Fuente**:** *Elaboración propia*

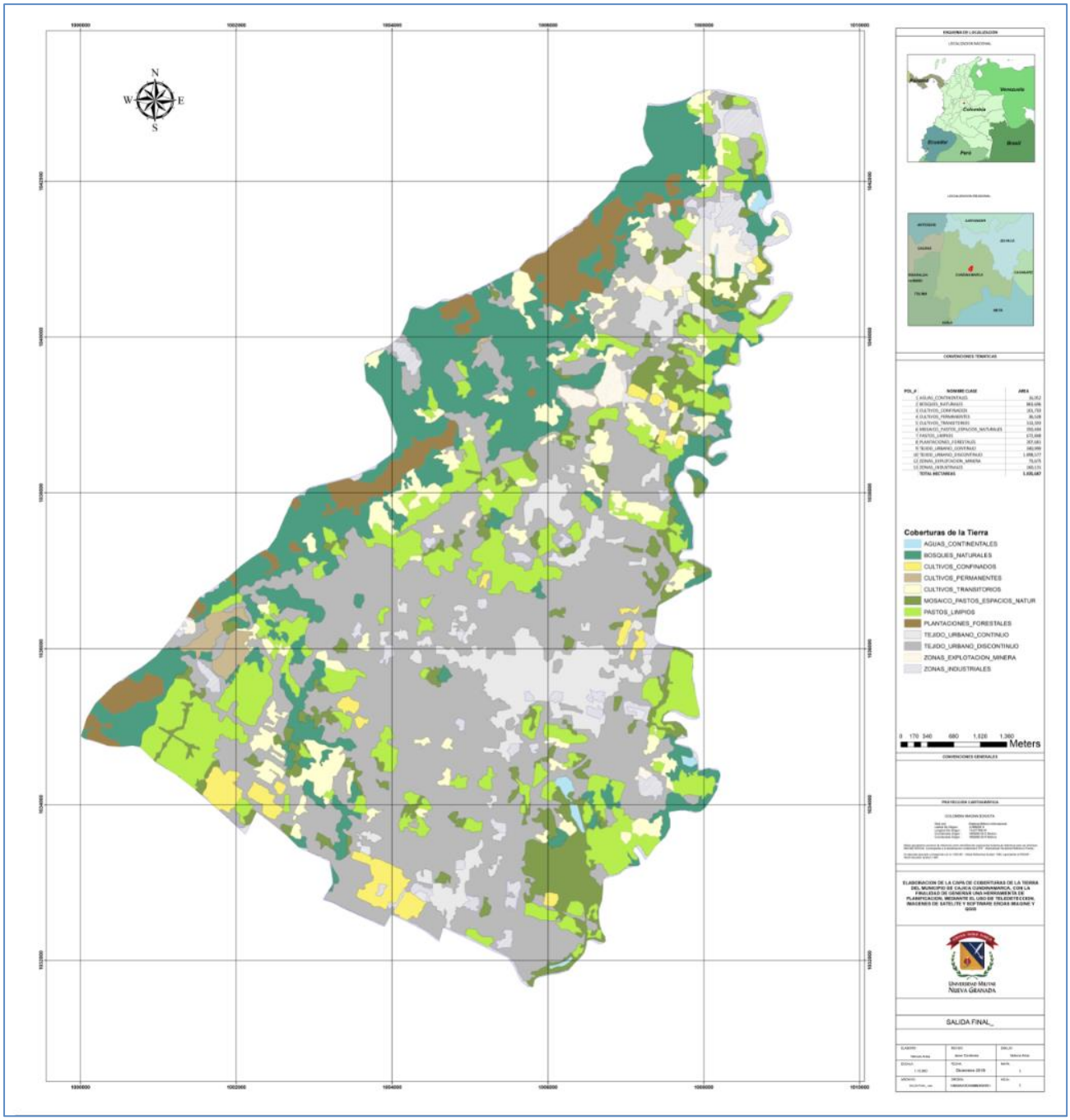


Figura 20. *Salida Final – Capa de Coberturas de la tierra*
Municipio de Cajicá - Cundinamarca - Erdas Imagine
Fuente**:** *Elaboración propia*

V. CONCLUSIONES

1. Con respecto a las imágenes de satélite utilizadas.

Teniendo dos imágenes de satélite, una de 1.6 m de resolución espacial y 4 bandas (Spot 7) y otra de 10 m de resolución espacial y 11 bandas (Sentinel) y realizando el mismo ejercicio de clasificación supervisada con cada una de ellas, con exactamente las mismas zonas de entrenamiento, podría pensarse en un juicio a priori que las imágenes con mayor resolución espacial brindarían mayores posibilidades de obtención de resultados más ajustados a la realidad, pero una vez hecho el ejercicio fue posible determinar que realmente la resolución espectral fue determinante en ese acercamiento de las coberturas de la tierra obtenidas, a la realidad geográfica del área de estudio y no la resolución espacial.

2. Con respecto a los programas utilizados en la realización del proceso de clasificación supervisada.

Programa Erdas Imagine. Los resultados obtenidos mediante el uso de este programa muestran que el algoritmo utilizado en el procesamiento es mucho más exacto y tiene una mayor capacidad en el análisis de las firmas espectrales, pues los resultados dan cuenta de un mayor grado de diferenciación entre una y otra firma espectral de los diferentes elementos encontrados en esta zona, lo que en definitiva lo hace mucho más confiable.

El programa QGIS por su parte, aún en la versión 3.4 que es la más actualizada, realmente aún no tiene la capacidad de hacer una diferenciación precisa entre las diversas firmas espectrales, ya que entremezcla las coberturas definiendo solo algunas de ellas y generalizando otras en una sola clasificación. De todas maneras este programa por su carácter de software libre se encuentra en constante desarrollo y se espera que con el tiempo perfeccione sus procesos.

3. Con respecto a las zonas de entrenamiento.

Es necesario tener un conocimiento previo de la zona de estudio y de las coberturas que se habrán de obtener, se deben tener áreas de referencia, para así poder definir las zonas de entrenamiento que se habrán de usar en el proceso de clasificación supervisada. Una vez determinadas las zonas de entrenamiento, se tiene control sobre ellas, brindando así la posibilidad ser editadas y volver a correr el proceso de clasificación supervisada.

4. Con respecto a Metodología Corine Land Cover.

Aunque esta metodología es muy completa, aún hace falta muchísimo por incluir a cerca de las diferentes coberturas que existen en nuestro país y que aún no se han contemplado en dicha metodología. Sin embargo, no deja de ser una guía muy útil en la determinación de las diferentes coberturas de la tierra que se pueden encontrar en una zona determinada.

BIBLIOGRAFIA

IDEAM. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D.C., 2010, 72p.

IGAC, CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), UNION EUROPEA, Mejora de los Sistemas de Cartografía del Territorio Colombiano, Guajira - Rioacha, 2007.

IGAC, Posada, E, Ramírez, H, Espejo, N. Manual de Percepción Remota con el Programa ERDAS IMAGINE, 2012.

Olaya, Víctor. Sistemas de Información Geográfica. 2014.

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Unidad SIG. Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), Introducción a la teledetección con ERDAS Imagine. Madrid, 2011.

INPROHUELVA - ONU - GE. Geodesia y Gestión de Recursos Naturales y Patrimonio Natural. Sensores Remotos y Aplicaciones en Teledetección. Departamento de Innovación y Tecnología - Proyecto SAMBA. 2016.

Arango G., Branch B., Botero F., 2005. Clasificación No Supervisada De Coberturas Vegetales sobre Imágenes Digitales De Sensores Remotos: "Landsat – Etm". Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.

Chuvieco, Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp S.A., Madrid, España. 1990.

Chuvieco, Emilio. Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. 2002

Chuvieco, Emilio. Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo. Conferencia pronunciada el en el curso "Teledetección y recursos naturales", organizado por el *CEDEX*. 4 de julio de 1984.

Cárcamo, A, Rejas J.Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011.

Universidad Nacional de Colombia, Revista Colombiana de Biotecnología Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. ISSN: 0123-3475

http://siatac.co/web/guest/productos/coberturasdelatierra/fichasdepatrones/pastos-limpios
Resolución 1197 de 2004 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Sistema conformado en los Sensores Remotos. Fuente: Gestión de Recursos Naturales y Patrimonio Natural.....4
Figura 2. Resolución de un Sensor Remoto. Sensores Remotos y Aplicaciones en Teledetección. Dpto. Innovación y Tecnología - Proyecto SAMBA.....5
Figura 3. Área del Proyecto – Municipio de Cajicá. Fuente: Elaboración propia.....7
Figura 4. Delimitación Area de Estudio. Fuente: Elaboración propia.....8
Figura 5. Especificaciones de las Imágenes de Satélite utilizadas. Fuente: Imagen de satélite adquirida por la Universidad Militar Nueva Granada y Earthexplorer, U.S.....9
Figura 6. Zonas de Entrenamiento definidas en software ERDAS IMAGINE. Fuente: Elaboración propia.....10
Figura 7. Zonas de Entrenamiento definidas en software QGIS. Fuente: Elaboración propia. 11
Figura 8. Análisis de Separabilidad realizado Software ERDAS IMAGINE. Fuente: Elaboración propia.....12
Figura 9. Definición de firmas espectrales – Software QGIS. Fuente: Elaboración propia.....12
Figura 10. Resultado de Clasificación Supervisada Software QGIS. (algoritmo 1) Fuente: Elaboración propia.....13
Figura 11. Resultado de Clasificación Supervisada Software QGIS. (algoritmo 2) Fuente: Elaboración propia.....14
Figura 12. Resultado Inicial Clasificación Supervisada. Software ERDAS IMAGINE 2015 Fuente: Elaboración propia.....14
Figura 13. Clasificación de coberturas de la tierra. Municipio de Cajicá, Cundinamarca. Fuente: Elaboración propia.....15
Figura 14. Aplicación ***Filtro Neighborhood***. Municipio de Cajicá, Cundinamarca. Fuente: Elaboración propia.....15
Figura 15. Resultado final de la Clasificación Supervisada con Erdas Imagine Fuente: Elaboración propia.....16
Figura 16. Cobertura Zona de Extracción Minera y Cobertura Zona Industrial. Comparación entre Clasificación Supervisada y realidad física - Erdas Imagine. Fuente: Elaboración propia.17
Figura 17. Cobertura Cultivos Permanentes, Comparación entre Clasificación Supervisada y realidad física - Erdas Imagine. Fuente: Elaboración propia.....18
Figura 18. Cobertura Tejido Urbano Continuo. Comparación entre Clasificación Supervisada y realidad física - Erdas Imagine. Fuente: Elaboración propia.....18
Figura 19. Clasificación Supervisada, Areas por clase.Municipio de Cajicá - Cundinamarca - Erdas Imagine Fuente: Elaboración propia.....19
Figura 20. Salida Final – Capa de Coberturas de la tierra. Municipio de Cajicá - Cundinamarca - Erdas Imagine. ***Fuente*:** Elaboración propia.....20

ESPECIALIZACION EN GEOMATICA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Agradecimientos a la Ingeniera Martha Quevedo,
Coordinadora de la Especialización en Geomática,
por la diligencia y el compromiso
con que nos apoyó durante todo el proceso.

Mi gratitud para mi Padre Celestial;
no puedo menos que sentirme completamente privilegiada
por su presencia y manifestación plena.

Artículo de aplicación para optar al título de Especialista en Geomática