



DETECCIÓN DE CAMBIOS FÍSICOS EN LA COBERTURA DE LA MINA DE NÍQUEL “CERROMATOSO” UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES MULTIESPECTRALES

ESPECIALIZACION EN GEOMÁTICA

*Gina Gordillo Sánchez
Ingeniera Catastral y Geodesta.*

2015

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
BOGOTÁ

DETECCIÓN DE CAMBIOS FÍSICOS EN LA COBERTURA DE LA MINA DE NIQUEL “CERROMATOSO” UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES MULTIESPECTRALES.

DETECTION OF PHYSICAL CHANGES IN COVERAGE OF NICKEL MINE " CERROMATOSO " USING SATELLITE MULTISPECTRAL IMAGES.

Gina Gordillo Sanchez

Ing. Catastral y geodesta, “Universidad Distrital Francisco José de Caldas” Líder técnico unidad de Imágenes Satelitales, Procalculo SA. Bogotá, Colombia, ggordillo@procalculo.com

RESUMEN

Cerromatoso está ubicado en Colombia el departamento de Córdoba entre los municipios de Montelibano y Puerto libertador, esta ubicación, si bien permite que predominen ambientes secos ofrece diferentes ecosistemas desde bosque denso hasta pequeñas extensiones de cultivos, conformando una biodiversidad particular. Teniendo en cuenta esta riqueza ha sido compromiso de Cerromatoso SA desde sus inicios a establecer políticas claras en la mitigación, control y compensación de los impactos generados por los procesos mineros.

La detección de cambios en las coberturas de las minas a cielo abierto, toma importancia debido a la necesidad de preservar los ecosistemas que allí habitan, la percepción remota es una alternativa viable para la detección de cambios en las coberturas vegetales, para la determinación de crecimiento de la infraestructura de las minas, y para la determinación del estado de los cuerpos de agua entre otras aplicaciones.

En el presente documento se describen los cambios físicos que se presentaron en la cobertura de la mina la de níquel “Cerromatoso” ubicada en Colombia el departamento de Córdoba entre los municipios de Montelibano y Puerto libertador.

La determinación de los cambios físicos se realizó mediante la comparación entre las coberturas presentes sobre el área de interés, la identificación de las coberturas se realizó soportado en la leyenda nacional “corinelandcover” utilizando dos imágenes satelitales multiespectrales de distinta temporalidad. Con estas clasificaciones se pretende determinar y analizar los cambios físicos dados por el alto impacto ambiental que genera una mina a cielo abierto.

Palabras clave Metodología Mínima Distancia, Imagen Satelital, clasificación supervisada, coberturas vegetales, Niveles digitales.

ABSTRACT

Cerromatoso Colombia is located in the department of Cordoba between the towns of Montelibano and Puerto Libertador, this location, while dry conditions prevail allows offers different ecosystems from dense forest to small areas of crops, forming a particular biodiversity Given this wealth It has been committed to Cerromatoso SA since its inception to establish clear policies on mitigation, control and compensation of impacts generated by mining processes.

Detecting changes in the coverage of the open sky, it becomes important because of the need to preserve ecosystems that live there, remote sensing is a viable alternative for the detection of changes in vegetation cover, for determining growth infrastructure of the mines, and for determining the status of water bodies and other applications.

In this document the physical changes that occurred in the coverage of the nickel mine "Cerromatoso" Colombia located in the department of Cordoba between the municipalities of Puerto Libertador Montelibano.

The determination of the physical changes made by comparing the present coverage of the area of interest, identification of the coverage was based on the national legend "corinelandcover" multispectral satellite images using two different times. With these classifications it is to determine and analyze the physical changes given by the high environmental impact generated on open sky mine.

Keywords Low Distance Methodology, Satellite Image, supervised classification, vegetative cover. Digital levels.

INTRODUCCIÓN

Colombia debido a su ubicación privilegiada desde el punto de vista geológico, posee un recurso potencial geológico minero haciendo de este país un territorio propicio para la exploración de recursos minerales como oro, níquel, plata, Esmeralda, platino, carbón y petróleo. [1].

La mina Cerro Matoso S.A. está ubicada en el municipio de Montelíbano, costado sur de Córdoba, es conocido como la "Capital Niquelera de América", gracias a que es la mina a cielo abierto de extracción de níquel más grande del continente y la cuarta del planeta. [2].

"Colombia es el primer productor de Níquel en Suramérica y el tercero en Centroamérica y el Caribe, después de Cuba y República Dominicana. Cerro Matoso aporta el 10% de la producción mundial de Ferroníquel y un 3% de la producción mundial de Níquel. La producción industrial se hace en lingotes de Ferroníquel con un contenido de 37,5% de Níquel." [3].

Al ser Cerromatoso la mina a cielo abierto más grande de Sur América, [2]. Se convierte en un foco ambientalista, político y social entre otros, y se empiezan a

generar varios interrogantes, como por ejemplo ¿Cuáles son los riesgos de tener una mina a cielo abierto? ¿Cuáles son los cambios que se han generado en las coberturas de vegetación? ¿Se está respetando la delimitación legal para la explotación? y quizá la más importante ¿Qué tanto afecta una mina a cielo abierto a las comunidades aledañas?

La principal preocupación derivada del impacto ambiental radica en los efectos observados en la población de los municipios aledaños a las minas, la contaminación en el agua y en el aire, por vertimiento de desechos tóxicos, acumulan pequeñas partículas de mineral sobre los pulmones, “lo que puede llegar a generar neumoconiosis”, una grave enfermedad pulmonar, ocasionada por la deposición de residuos sólidos en los bronquios, este es uno de tantos problemas por los cuales tienen que pasar las comunidades que viven cerca de las minas explotadas a cielo abierto, sin nombrar el hecho de que estas comunidades se han tenido que desplazar debido a que sus cultivos ya no son prósperos por efectos de la contaminación del agua. En el estudio “Minería en Colombia: fundamentos para superar el modelo extractivista” — publicado por la Contraloría General de la República (CGR) — se presentan mediciones objetivas sobre la gigantesca producción de residuos rocosos que acompaña a la minería del carbón y del oro a gran escala, residuos que -mediante procesos geoquímicos inevitables e irreversibles- contaminan el medio ambiente [4].

1. MATERIALES Y METODOS

1.1 METODOLOGIA

La metodología que se implementó en este proyecto se divide en tres fases representadas en el diagrama de flujo de la *Ilustración 1*.

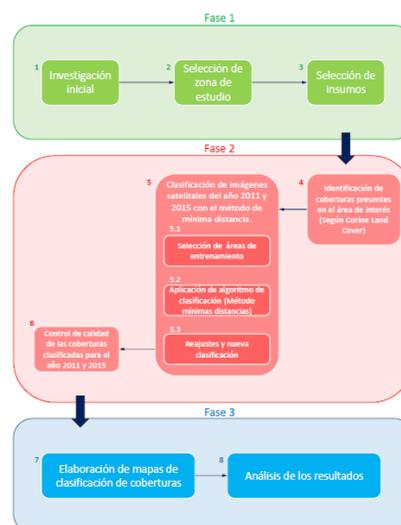


Ilustración 1. Diagrama de Flujo – Metodología

Fuente: Autor.

1.1.1 Primera Fase

- Investigación inicial: Determinación del problema y planteamiento de la pregunta de investigación
- Elección de zona de estudio: Se realizó para determinar y elegir cuales recursos geográficos son los adecuados para la detección de cambios y cuál es el mejor software para el procesamiento de los datos
- Elección de Insumos: Se realizó para determinar y elegir cuales recursos geográficos son los adecuados para la detección de cambios y cuál es el mejor software para el procesamiento de los datos.

1.1.2 Segunda Fase

- Identificación de las coberturas presentes en el área de interés (Según “LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA, Metodología CORINE LandCover adaptada para Colombia”
- Clasificación visual de las coberturas dentro del área de interés utilizando como guía las coberturas de la leyenda nacional CORINE LandCover.
- Clasificación de las imágenes satelitales de ambos años, utilizando el método mínima distancia.
 - Digitalización de las áreas de entrenamiento.
 - Conversión de la capa coberturas de grid a polígono.
 - Generalización de los polígonos.
- Control de calidad a las coberturas clasificadas para ambos años: Elección de pequeñas muestras para comprobar si las coberturas estas correctamente clasificadas.

1.1.2 Tercera Fase

- Realización de mapas de clasificación de coberturas: Realización de los mapas con la clasificación de las coberturas presentes, uno obtenido con la información de la imagen el año 2011 y el otro con la del año 2015.
- Análisis de los resultados: Consiste en el análisis final de los datos obtenidos y en la documentación de estos.

1.2 ZONA DE ESTUDIO

La mina de níquel Cerromatoso queda ubicada en Colombia el departamento de Córdoba entre los municipios de Montelibano y Puerto libertador ubicada en la zona rural de corregimiento de Bocas de Uré, a continuación se presenta el mapa de localización, en donde se puede observar la localización geográfica de la mina. [5]

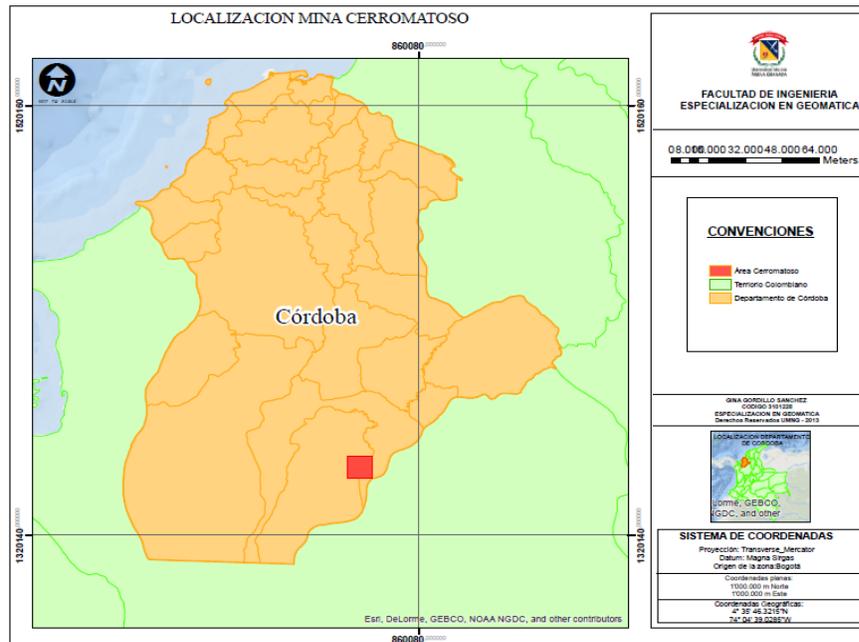


Ilustración 2. Localización Cerromatoso
Fuente: Autor

La fotografía presentada a continuación fue tomada en junio de 2013 sobre la mina, en la cual se puede observar la cobertura de la explotación a cielo abierto.



Ilustración 3. Fotografía Cerromatoso
Fuente: Imagen Tomada de [3]. "El Níquel en Colombia"

1.3 RECURSOS UTILIZADOS

Para la detección de cambios en la cobertura de la mina CERROMATOSO, se utilizaron 2 imágenes satelitales multiespectrales de la constelación DigitalGlobe [6], en la tabla 1. Se muestran las características técnicas de las imágenes y en la ilustración se puede observar una vista rápida de dichas imágenes, para realizar las clasificaciones de las coberturas de las imágenes se utilizó el software ERDAS IMAGE 2013 y por último para realizar la transformación a polígono se utilizó el software ArcGis versión 10.1.

Tabla 1. Características de las imágenes [7]

Fecha de Toma	02 de mayo 2011	03 Marzo 2015
Sensor	WorldView 2	WorldView 2
Resolución Espacial	60 cm	60 cm
Resolución Espectral	4 Bandas	4 Bandas
Resolución Radiométrica	8 Bits	8 Bits
Área de Estudio	25 km ²	25 km ²

Fuente: Información recopilada de [7] Características de las imágenes DG

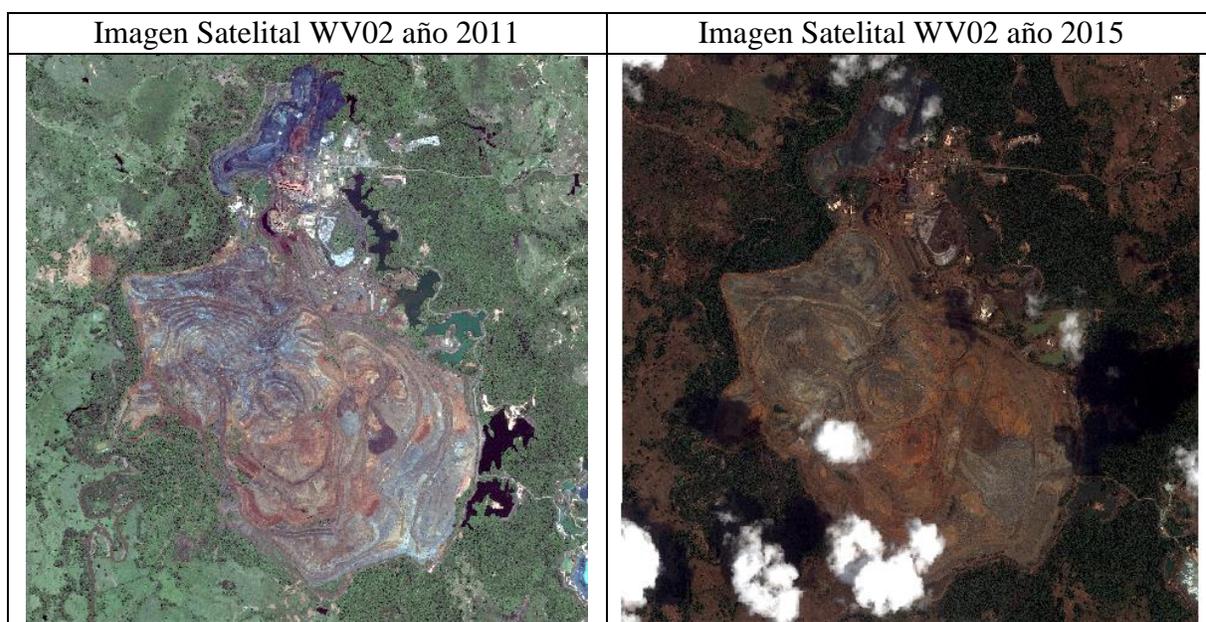


Ilustración 4. Imágenes WordView-2- Diferente Temporalidad

Fuente: Información entregada en versión Demo por Digital Globe [6]

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Para la identificación de las coberturas se realizó una clasificación visual teniendo en cuenta la leyenda nacional CORINE LandCover [8], realizando esta identificación visual se determinaron las siguientes coberturas: zona de extracción minera, vegetación secundaria, vegetación en mina, vegetación baja, tierras desnudas, ríos, pastos limpios, pastos arbolados, herbazal, cultivos, cuerpos de agua y bosque denso, las cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Identificación visual de áreas presentes.

3.2.3 Vegetación secundaria	
	<p>Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva y herbácea con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales.</p>
3.2.1.1.2.1 Herbazal denso inundable no arbolado	
	<p>Corresponde a aquellas superficies dominadas por vegetación natural herbácea con cobertura mayor a 70% del área total de la unidad, en suelos permanentemente sobresaturados, que durante los periodos de lluvia pueden estar cubiertos por una lámina de agua.</p>
2.3.1 Pastos limpios	
	<p>Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, enclavamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.</p>
3.1.1.2.1 Bosque denso bajo de tierra firme	

	<p>Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (Li pieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) Y los niveles tecnológicos utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.</p>
<p>3.2.3.2 Vegetación secundaria baja</p>	
	<p>Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva y herbácea con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales.</p>
<p>2.3.2 Pastos arbolados</p>	
	<p>Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos.</p>
<p>3.3.3 Tierras desnudas y degradadas</p>	
	<p>Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas.</p>
<p>2.2.2.1 Otros cultivos permanentes arbustivos</p>	
	<p>Cobertura permanente de cultivos arbustivos de especies con superficie mayor a 25 ha y que sean identificables.</p>
<p>1.3 Zonas de Extracción minera y escombreras</p>	

	<p>Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen.</p>
<p>1.4 Cuerpos de agua.</p>	
	<p>Esta cobertura comprende los cuerpos de agua de carácter artificial, que fueron creados por el hombre para distintos usos.</p>

Fuente: Tomado de: LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA, Metodología CORINE LandCover [8]

2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES DE AMBOS AÑOS, UTILIZANDO EL MÉTODO MÍNIMA DISTANCIA.

Después de identificar las coberturas presentes en las imágenes satelitales, se realizó una clasificación “supervisada” por el método de mínima distancia, la clasificación supervisada requiere de cierto conocimiento previo de las coberturas presentes sobre el terreno, por esto se realizó la identificación visual previa.

Con base de este conocimiento se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento, estas 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 5) [9]

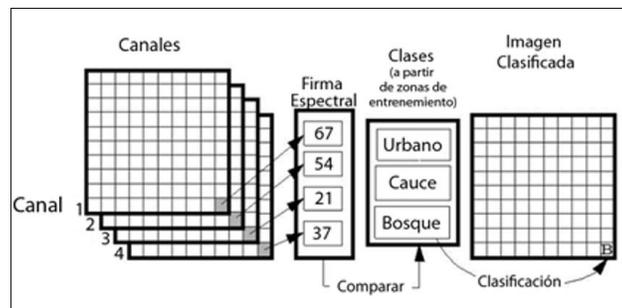


Ilustración 5. Esquema Clasificación Supervisada
Fuente: Emilio Chuvieco [9]

2.2.1 SELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE ENTRENAMIENTO

Esta actividad se basa en los criterios pictórico-morfológicos de la imagen, tales como: tono, forma, textura, tamaño, entre otros (ver Ilustración 6). A partir de estas muestras el algoritmo clasificador calcula los Niveles Digitales que definen cada una de las clases y asigna el resto de los píxeles de la imagen a una de esas categorías.

Se seleccionan varias áreas de entrenamiento por categoría con el fin de reflejar adecuadamente la variabilidad de la zona de estudio, la clasificación responde a la idea de que pueden establecerse límites precisos entre las respuestas espectrales de unos píxeles y otros, siendo estos límites los que definen las clases. [9]

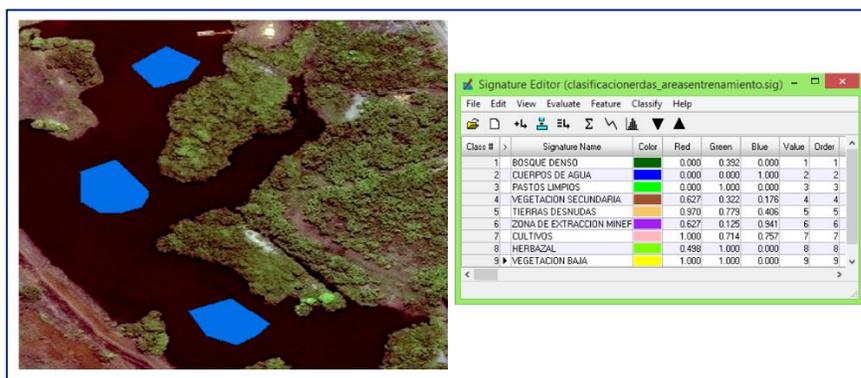


Ilustración 6. Áreas de Entrenamiento ERDAS IMAGE 2013
Fuente: Autor

2.2.2 APLICACION DEL ALGORITMO DE CLASIFICACIÓN

El algoritmo de asignación elegido fue el de mínima distancia debido que este método no deja píxeles sin clasificar y es apropiado para procesos en donde la resolución espacial de las imágenes es muy pequeña, el método de mínima distancia agrupa los píxeles a una u otra clase, a partir de las distancias mínimas espectrales, calculadas a partir de los valores de los Niveles Digitales de cada píxel en relación con la media muestral. En la ilustración 7 se expone el concepto de este algoritmo. [9]

Con base en las áreas de entrenamiento delimitadas con anterioridad se inicia 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.

Esta clasificación supervisada nos ayuda a reducir la cantidad de divisiones dejando solamente las clases que se requieren área el estudio requerido, uniendo las clases de información que no tiene relevancia como nubes, sombras y áreas sin información.

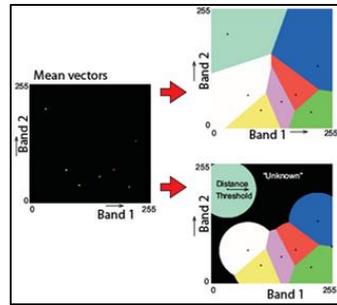


Ilustración 7. Principio del algoritmo de mínima distancia
Fuente: Fuente Kerle et al; 2004

El resultado es una nueva imagen en la que los niveles digitales están categorizados en clases temáticas y ésta se considerará como un mapa digital de formato raster, en la Ilustración 8. Se presentan las clasificaciones de las imágenes en formato Grid.

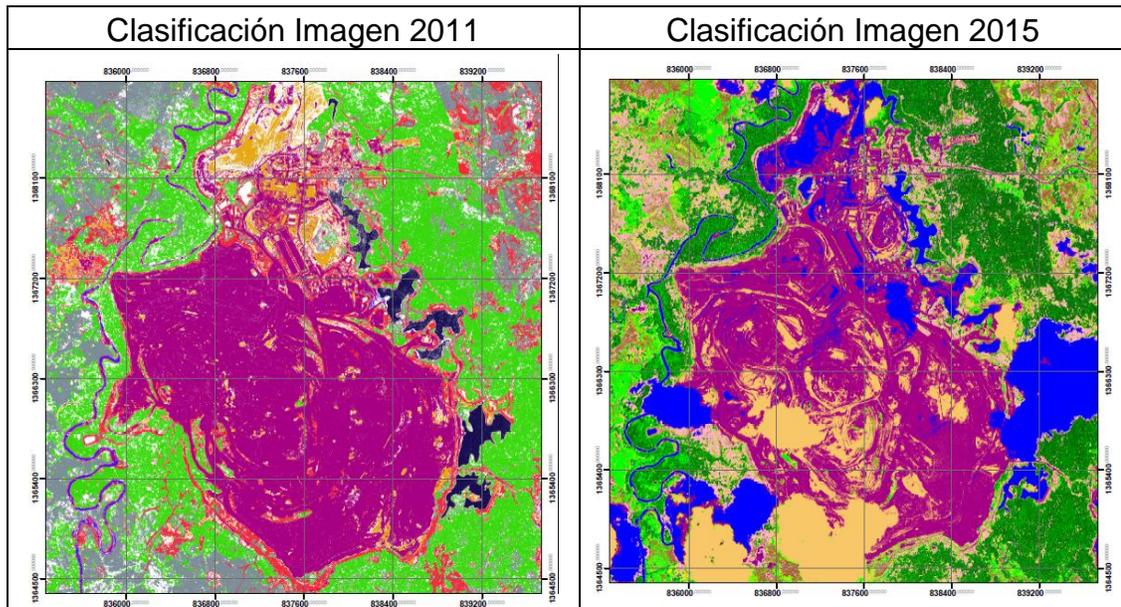


Ilustración 8. Clasificaciones 2011 y 2015
Fuente: Autor

2.2.2 REAJUSTES Y NUEVA CLASIFICACIÓN

Posterior a realizar la clasificación, se realiza la vectorización del .GRiD conversión de la capa raster resultante a polígono, esta capa geográfica fue llamada “coberturas”, este proceso se realiza para lograr mayor precisión en la determinación de áreas y los mapas de clasificación.

En la ilustración 9. Se puede observar la capa geográfica “Coberuras2011”, layer resultado de la transformación del .Grid, a su derecha se observa la depuración de

dicha capa, en donde las áreas temáticas se pueden apreciar con más facilidad, debido que se generalizaron los polígonos más pequeños, como se observa dentro del cuadro en rojo.

Clasificadas las imágenes generan una información bastante densa, pero se generaliza para poder realizar el procedimiento de sectorización a partir de las imágenes.

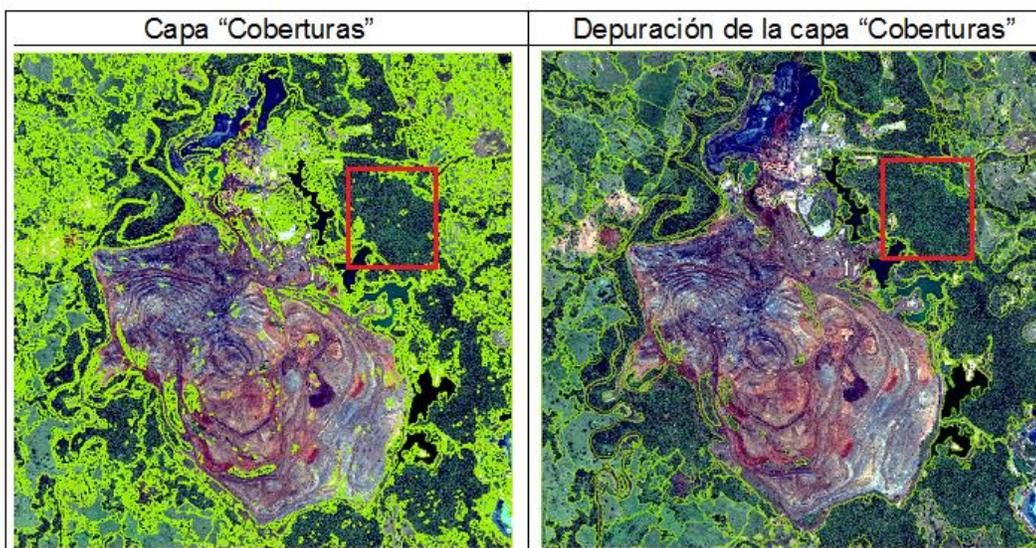


Ilustración 9. Comparación Shape 2011 depurado y sin depurar
Fuente: Autor

2.2.3 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Se realizó control de calidad sobre ambas clasificaciones, para efectos de determinar con mayor precisión el área de los cuerpos de agua se editó el layer para quitar el efecto pixel, como se muestra en la ilustración 10, adicional a esto no se tuvo en cuenta la clasificación de la nubosidad de la imagen 2015, se asumieron las mismas coberturas de la imagen del año 2011.



Ilustración 10. Control de calidad - Capa editada
Fuente: Autor

2.2.4 MAPAS DE CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS.

A continuación se presenta el mapa de clasificación de coberturas para el año 2011.

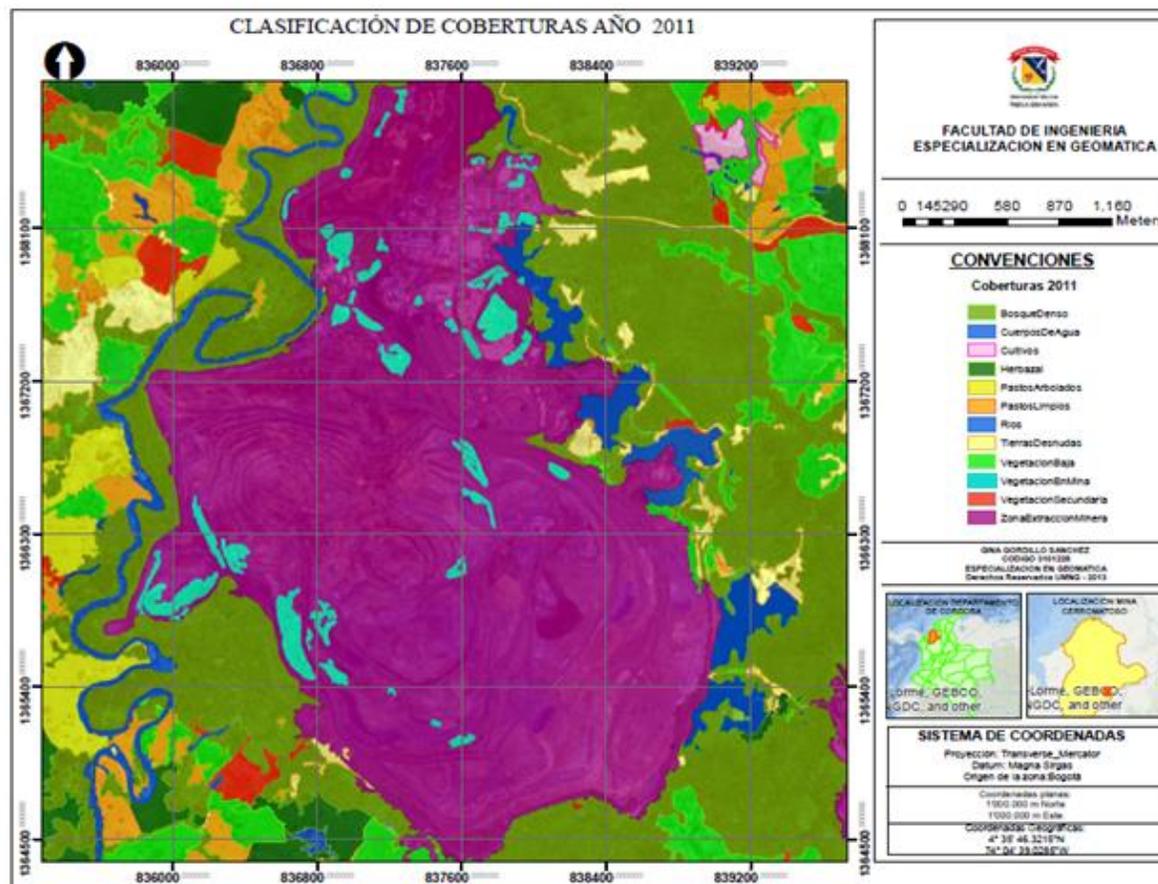


Ilustración 11. Mapa de Clasificación de coberturas año 2011

Fuente: Autor.

A continuación se presenta el mapa de clasificación de coberturas para el año 2015

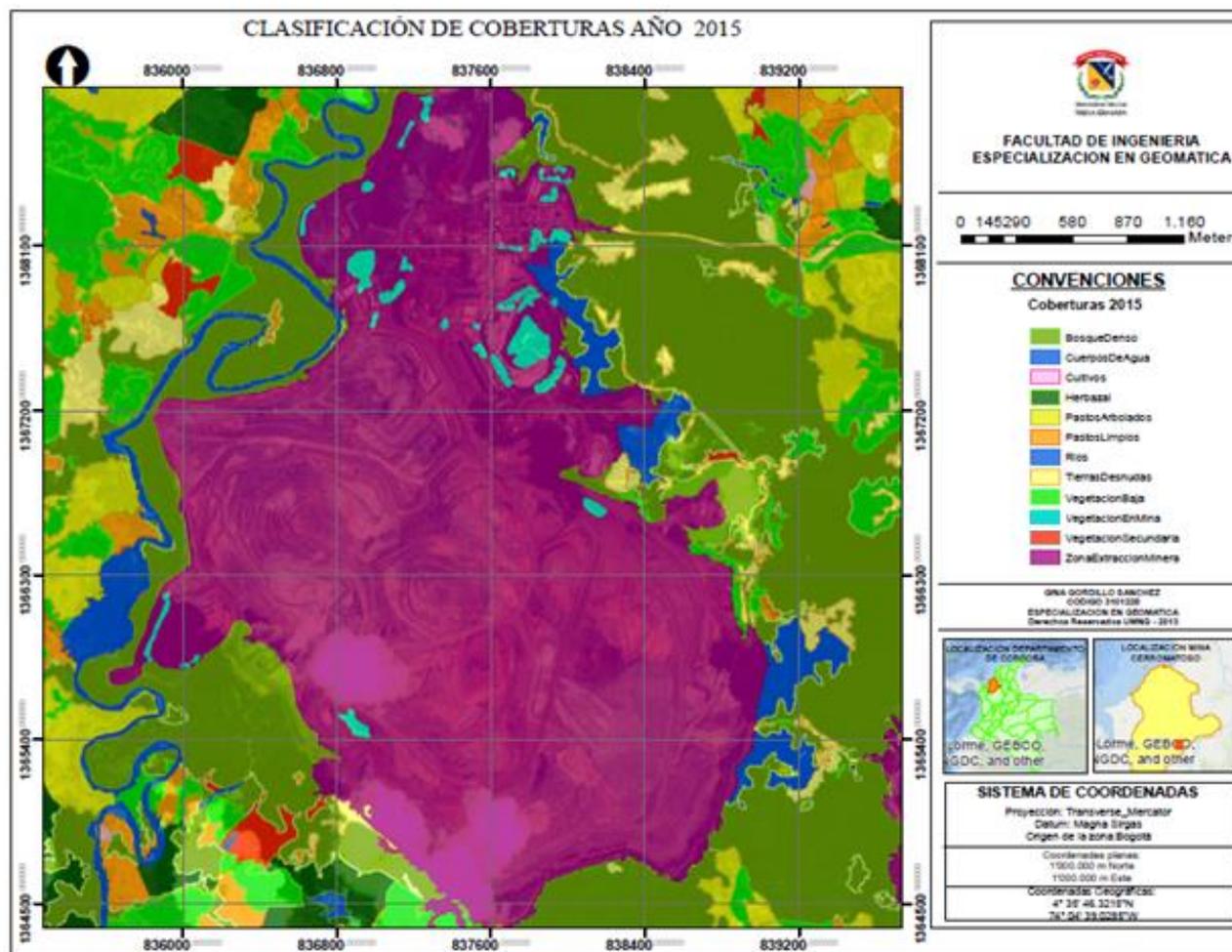


Ilustración 12. Mapa de Clasificación de coberturas año 2015
Fuente: Autor

2.2.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Después de haber vectorizado las clases o coberturas, se calcularon las áreas en kilómetros cuadrados de cada una de las coberturas presentes en la zona de estudio, para cada una de las clasificaciones. Ver Tabla 3.

El cálculo de áreas y el análisis de este, es la metodología utilizada para determinar los cambios físicos presentes sobre el área de estudio.

Tabla 3. Áreas Coberturas.

COBERTURA	ÁREAS COBERTURAS 2011	% ÁREA COBERTURAS 2011	ÁREAS COBERTURAS 2015	% ÁREA COBERTURAS 2015
Bosque Denso	7.989.350,79	31,9574	7514195,501	30,0568
Cuerpos De Agua	613.987,92	2,4560	636756,8822	2,5470
Cultivos	93.178,44	0,3727	26201,52828	0,1048
Herbazal	1.084.925,63	4,3397	845528,4892	3,3821
Pastos Arbolados	874.268,67	3,4971	2015694,827	8,0628
Pastos Limpios	1.408.183,20	5,6327	1461933,993	5,8477
Ríos	314.342,88	1,2574	370915,1198	1,4837
Tierras Desnudas	755.295,72	3,0212	814273,8474	3,2571
Vegetación Baja	2.550.515,10	10,2021	2326464,814	9,3059
Veg. En Mina	351.798,50	1,4072	152350,6191	0,6094
Veg. Secundaria	568.548,90	2,2742	225160,4686	0,9006
Zona Ext. Minera	8.395.604,27	33,5824	8610523,91	34,4421
Total	25.000.000,00	100,0000	25.000.000,00	100,0000

Fuente: Autor

Realizando la comparación entre las áreas presentes de las coberturas se puede determinar que tantos cambios se han presentado durante los 4 años comprendidos entre el 2011 y 2015.

En la gráfica 13. Se observar el cambio en áreas por cada una de las coberturas, se puede observar que para las coberturas: Bosque Denso, Cultivos, Herbazal, Vegetación Baja, Vegetación En Mina y Vegetación Secundaria hubo una disminución con respecto a las coberturas presentes en el 2014, por el contrario las coberturas: Cuerpos De Agua, Pastos Arbolados, Pastos Limpios, Ríos, Tierras Desnudas y Zona Extracción Minera tuvieron un incremento en área esto debido a factores expuestos a continuación.

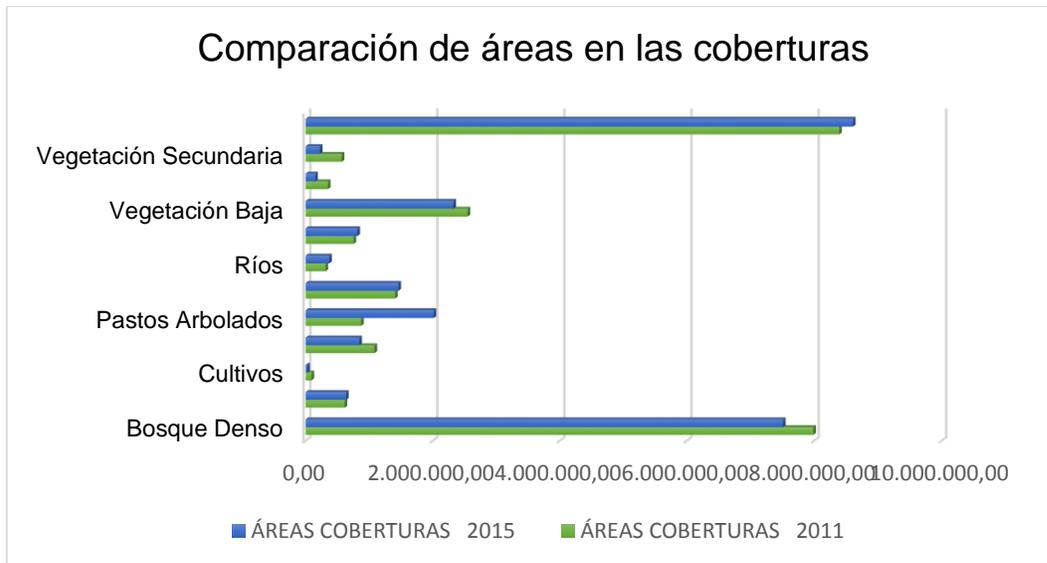


Ilustración 13. Comparación de áreas en las coberturas
Fuente: Autor

Bosque Denso. Se puede observar que el poder degenerativo que tiene la extracción de minas a cielo abierto sobre la vegetación y coberturas presentes causada por la contaminación y el mal manejo forestal hizo que la cobertura de Bosque Denso presente en el área de estudio pasara de 31,9% a un 30,05%, perdiendo 475.155 m² de esta importante cobertura en la que habitan miles de ecosistemas.

Los **Cultivos** perdieron 66.976,91 m², esto posiblemente se deba a que las aguas contaminadas por residuos de ríos, las utilizan como riego para los cultivos, haciendo que poco a poco las tierras vayan perdiendo sus nutrientes y dejen de ser fértiles para dicha actividad, la pérdida de esta cobertura también se puede dar por la diferencia de época en la que fue tomada la imagen, para detener esta pérdida es importante Mejorar la cantidad y calidad de las aguas para riego y bebida de los animales.

Para el 2015 el **Herbazal denso inundable no arbolado**. Perdió 239.397,14 m², de su área esto se puede deberse a la diferencia de época en la que fue tomada la imagen, tomando esta cobertura por **Pastos Arbolados** o **Pastos Limpios** que ambos aumentaron su área en 1.141.426,16 m², y 53.750,79 m², respectivamente.

El área de la cobertura **Cuerpos De Agua**. (Sumando Cuerpos de agua (piscinas se tratamiento) y ríos) aumentó en un 32% debido que las grandes mineras cambian los cauces de los ríos y realizan estanques o piscinas de tratamiento para desechar los residuos que deja la extracción minera, haciendo que los cuerpos de agua se degraden, y desembocando los residuos en los ríos que pasan por los municipios aledaño causando el aumento de enfermedades por consumo de agua contaminada. “La contaminación del agua afecta a todas las especies y ha hecho peligrar su existencia” [10].

La **Zona Extracción Minera** aumentó en 214.919,64 m^2 debido a la expansión de sus actividades y la extracción de material adicional.

La cobertura **Tierras Desnudas** aumento en el área de estudio llegando a 58.978,13 m^2 , conllevando degradación, pérdida de productividad del suelo, y pérdida de biodiversidad.

La **Vegetación Baja**, la **Vegetación En Mina** y la **Vegetación Secundaria** tuvieron una disminución de la cubierta vegetal, lo anterior a causa de la contaminación de las aguas, el abandono de las tierras y el mal manejo de los recursos forestales. Disminuyeron 224.050,28 m^2 199.447,89 m^2 y 343.388,43 m^2 .

3. CONCLUSIONES.

- El análisis de resultados considera sólo las coberturas identificadas en la clasificación visual y posteriormente en la clasificación supervisada, pero la identificación y clasificación de todas las coberturas presentes sobre el área de estudio solo se da realizando un trabajo en campo y teniendo en cuenta las épocas y condiciones de lluvia, debido a que no siempre se puede contar con la información del mismo periodo.
- Al utilizar el método mínimos distancia para realizar la clasificación “supervisada” de las imágenes satelitales no se tuvo píxeles sin clasificar, lo que pudo conllevar a errores de comisión, identificando equivocadamente las coberturas, para esto se determinó realizar un control de calidad posterior a la clasificación.
- En principio se utilizó el método de clasificación no supervisada ISODATA, pero debido que la clasificación se realizó con las imágenes satelitales de muy buena resolución espacial, la clasificación de las coberturas se hacía más complicada ya que clasificaba coberturas que no eran fáciles de percibir.
- Para realizar con más confiabilidad los procesos (Clasificaciones y Control de calidad) fue necesario trabajar con la banda del infrarrojo, debido que las coberturas vegetales tienen mayor reflectancia en este rango del espectro electromagnético.
- Tomando en cuenta los objetivos del proyecto, se cumplió el objetivo de realizar la detección de cambios de las coberturas presentes, para este caso se realizó mediante comparación de omisión de áreas, pero también pudo realizarse por análisis de componen.
- Es importante que entes reguladores ambientales controlen los cambios presentados en minas a cielo abierto y que evalúen si lo encontrado está

permitido en los códigos ambientales para cada mina, y con esto tener un control de las transformaciones del paisaje ilegales, desviaciones de ríos y vertimientos industriales en cuerpos de agua no permitidos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Rubén Darío Chanci y Leónidas Palacios (2013): “¿podrá la minería ser una locomotora de crecimiento y desarrollo para el país?” En: Trabajo de grado presentado Magíster en Administración – MBA, Universidad EAFIT, Medellín.
- [2]. Silverio Gómez Carmona (2012): Reportaje, “Cerromatoso, Mina rica, pueblo pobre” En: Artículo Publicado en Revista Mundo Minero, GBS Grupo Editorial, Bogotá.
- [3]. Ricardo Rodríguez Yee (2009), “El Níquel en Colombia” En: Documento técnico *Publicación Unidad de Planeación minero Energética, Capítulo 6, UPME, Bogotá.*
- [4] Cabrera, M. & J. Fierro (2013): “Implicaciones ambientales y sociales del modelo extractivista en Colombia” En: Minería en Colombia: fundamentos para superar el modelo extractivista. Contraloría General de la República. Bogotá.
- [5] JOAQUÍN VILORIA DE LA HOZ (2009) “El ferroníquel de Cerro Matoso: aspectos económicos de Montelíbano y el Alto San Jorge” En: Documento de trabajo sobre economía regional. Banco de la república.
- [6] DigitalGlobe, de Longmont (Colorado), EE. UU., Proveedor comercial de imágenes espaciales y de contenido geoespacial, y operador civil de teledetección espacial.
- [7]Características de las imágenes <https://www.digitalglobe.com/es>
- [8]IDEAM (2010) “LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA, Metodología CORINE LandCover adaptada para Colombia”
- [9]Chuvienco Emilio (2000), Teldetección Ambiental, La Observación de la Tierra Desde el Espacio, Ed. Ariel Ciencia. Madrid – España.
- [10] Sara Larraín - Pamela Poo, (2010) “Programa Chile Sustentable Conflictos por el Agua en Chile” 118 p. – Chile.