

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURAS NATURALES PRODUCIDA POR LA  
EXPLOTACION A CIELO ABIERTO EN CANTERAS DE MAGNESITA EN BOLIVAR -  
VALLE DEL CAUCA.



**FREDY ALEXANDER PORRAS GOMEZ**

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO (UAN)  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL  
SEDE FEDERMAN  
BOGOTA – COLOMBIA

2022

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURAS NATURALES PRODUCIDA POR LA  
EXPLOTACION A CIELO ABIERTO EN CANTERAS DE MAGNESITA EN BOLIVAR -  
VALLE DEL CAUCA.

FREDY ALEXANDER PORRAS GOMEZ

CODIGO:11792116398

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA SIG

DIRECTOR: ANDRÉS FELIPE CARVAJAL COORDINADOR ACADÉMICO DE  
POSGRADOS FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO (UAN)  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y CIVIL  
SEDE FEDERMAN  
BOGOTA – COLOMBIA

2022

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ANM	(Agencia Nacional de Minería)
OIF	(Factor de Índice Optimo)
PMA	(Plan de Manejo Ambiental)
PTO	(Plan de Trabajo y Obras)
PNN	(Parques Nacionales Naturales)
SIG	(Sistemas de Informacion Geograficos)
ZRFP	(Zona de Reserva Forestal Protegidas)

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	6
INTRODUCCION .....	7
OBJETIVOS .....	8
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos.....	8
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	9
2. METODOLOGIA .....	12
2.1 Área de estudio .....	12
2.2 Bolívar valle del cauca.....	12
2.3 ERDAS imagine.....	13
2.4 ArcGIS .....	13
3. PROCEDIMIENTO .....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	24
5. CONCLUSIONES .....	29
6. RECOMENDACIONES.....	31
7. REFERENCIAS.....	32

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Impactos generados por la explotación minera.....	11
Tabla 2 Recorte de imágenes a 8 Bits Años 2015, 2018 y 2021.....	15
Tabla 3 Matriz covarianza año 2015.....	16
Tabla 4 Calculo del valor OIF para los años 2015, 2018 y 20121.....	17
Tabla 5 Asignación de valor para la clasificación de coberturas .....	17
Tabla 6 Asignación de simbología para la clasificación supervisada .....	19
Tabla 7 Asignación de simbología para los cambios en la clasificación supervisada .....	22
Tabla 8 Matriz covarianza año 2015.....	24
Tabla 9 Matriz covarianza año 2018.....	25
Tabla 10 Matriz covarianza año 2021 .....	25
Tabla 11 Calculo del valor OIF 2015.....	25
Tabla 12 Calculo del valor OIF 2018.....	26
Tabla 13 Calculo del valor OIF 2021.....	26
Tabla 14 Cuenta de cambio de áreas (ha) año 2015 - 2018 .....	27
Tabla 15 Cuenta de cambio de áreas (ha) año 2018 - 2021 .....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cartografía zona de estudio (Bolívar – Valle del Cauca).....	12
Figura 2 Tipo Sentinel – 2 Bolívar Valle del Cauca Año 2015 .....	14
Figura 3 Tipo Sentinel – 2 Bolívar Valle del Cauca Año 2018 .....	14
Figura 4 Tipo Sentinel – 2 Bolívar Valle del Cauca Año 2021 .....	15
Figura 5 Modelo Model Maker para generar matrices de covariancia y correlación.....	16
Figura 6 Creación capa de puntos para la clasificación de coberturas con base a una imagen satelital tipo Sentinel. ....	18
Figura 7 Creación de firmas espectrales. ....	18
Figura 8 Clasificación de máxima verosimilitud. ....	19
Figura 9 Clasificación supervisada. ....	20
Figura 10 Conversión de Ráster a Polígono.....	20
Figura 11 Unión de imágenes tipo polígono años 2015 -2018 y 2018 - 20121 .....	21
Figura 12 Asignación de sentencias mediante la herramienta Field Calaculator.....	22
Figura 13 Tipo de cambios que presenta las coberturas durante los periodos 2015 – 2018 y 2018 - 2021 23	

## **RESUMEN**

El presente trabajo da a conocer los cambios del suelo durante los años 2015, 2018 y 2021 que ha generado la extracción de Magnesita en el Municipio de Bolívar (valle del Cauca). Los resultados obtenidos demuestran la transformación de coberturas como lo son: Capa Vegetal, Minería, Cultivos y Población.

Durante este periodo se observó que los cambios más significativos en las coberturas son en las capas vegetales y la explotación Minera.

Los cambios de cobertura y el uso del suelo están determinados por actividades antrópicas, las cuales son las responsables de las transformaciones de estas.

**Palabras clave:** Cambio de cobertura, uso del suelo, Magnesita

## **ABSTRACT**

This paper presents the changes in the soil during the years 2015, 2018 and 2021 that have generated the extraction of Magnesite in the Municipality of Bolívar (Cauca Valley). The obtained results demonstrate the transformation of coverages as they are: Vegetal Layer, Mining, Crops and Population.

During this period it was observed that the most significant changes in the coverage are in the plant layers and mining.

Changes in land cover and land use are determined by anthropic activities, which are responsible for changes in land cover and land use.

**Keywords:** Land cover change, land use, Magnesite

## INTRODUCCION

La explotación de minerales a cielo abierto genera impactos ambientales que en algunos casos son irreparables; por ende, la necesidad de abordar tecnologías novedosas para mitigar y mejorar su extracción.

Los sistemas de información geográficos (SIG) nos permiten estudiar los tipos de ecosistemas que se encuentran en un proyecto minero, dándonos a conocer que áreas se pueden intervenir y generar el menor impacto ambiental posible.

Durante el siguiente proyecto estará enfocado en los cambios de coberturas e impactos ambientales que ha sufrido la zona de explotación, en este caso el contrato de concesión 1836 ubicado en el municipio de Bolívar departamento del Valle del Cauca.

En la zona de estudio la extracción de Magnesita ha generado impactos ambientales y visuales, causando deslizamientos por movimiento de tierras y erosión en los suelos, ocasionando un conflicto con la población del municipio.

Para el desarrollo del proyecto se realizó un análisis de dos periodos 2015 – 2018 y 2018 - 2021, utilizando fotografías aéreas, las cuales permiten comparar la variación de las coberturas vegetales con las afectaciones ambientales presentes en el área del contrato de concesión 1836.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Reconocer los cambios en las coberturas naturales producidas por la extracción de Magnesita a cielo abierto en el municipio de Bolívar departamento del Valle del Cauca.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar las coberturas de la tierra presentes en los años 2015 – 2018 y 2021 del contrato de concesión 1836.
- Analizar los cambios en las coberturas naturales generados por la explotación minera.



## 1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO

La minería es una de las actividades más importantes de la economía colombiana, en particular es identificada como uno de los cinco sectores más importantes para contribuir al desarrollo económico y social de la nación; según el informe del Sector de Minas, del Ministerio Minas y Energía de 2011.

El sector minero para el departamento del Valle del Cauca no es de las principales fuentes económicas hacia la población vallecaucana. A pesar de esto el sector genera grandes contribuciones sobre el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB). Por lo tanto, se convierte en una de las variables estratégicas, más importantes en la economía del departamento.

### **Coberturas de la tierra**

Se refiere a la descripción física de la capa superficial de la tierra, donde se incluye poblaciones, capas vegetales y áreas sin vegetación. Mientras el término uso de la tierra está caracterizado por todo tipo de actividades antropogénicas donde se usan y se modifican las coberturas de la tierra (Richters, 1995).

El uso de la tierra está afectado por factores culturales, políticos, económicos, históricos y de uso a diferentes escalas.

La cobertura en la tierra es uno de los principales rasgos que afectan el funcionamiento del ecosistema (Britos & Barchuck, 2008). La cobertura y el uso del suelo son elementos donde se describen las actividades humanas que se desarrollan en este.

El primer término hace relación a todo objeto de origen natural como lo son ríos, montañas lagunas, lagos, etc. Localizados sobre la superficie de la tierra (F. Rosete, 2008).

El segundo término hace referencia a la actividad interferida por el hombre, donde se busca satisfacer las necesidades que requiere la sociedad

La información que genera el cambio de cobertura y el uso de la tierra son claves para el manejo ambiental dando a conocer la transformación del paisaje a diferentes ritmos. Visto de otra forma existen procesos de antropización que genera cambios importantes dando como resultado la modificación en las conductas humanas.

“El cambio y uso de cobertura del suelo es de gran importancia para la toma de decisiones sobre el manejo de recursos naturales dando a conocer la dinámica del cambio que genera y hacia donde nos puede llevar la intervención del hombre”.

### **Recursos mineros**

Los recursos mineros están divididos en tres grupos, donde se encuentran los minerales metálicos que componen en depósitos de oro, hierro, cobre, aluminio, plomo, etc. Los segundos son los minerales no metálicos que tienen como fin la producción industrial: piedras, sales, **magnesita**, talco, asbestos, gravas y arenas, etc. Y el tercer grupo está compuesto por recursos hídricos y piedras preciosas.

## **La Minería en Colombia**

Ha sido una actividad desde la época precolombina, desarrollando el arte de la orfebrería y la cerámica, después vino la época de la colonia donde se empezó con la exportación de oro, ya después de 1910 con la llegada de las maquinas a vapor se empieza a extraer carbón (Cárdenas & Reina, 2008). En los años 90 se empezó a tener mayor dinámica en la extracción de los recursos mineros y es ahí donde se empiezan a formular políticas y normas donde se iban acogiendo con lo que se establece en la constitución Nacional de 1991.

Para el periodo del 2006 se realizó el plan de desarrollo minero con el fin de fomentar el crecimiento de toda actividad minera. Con esto se pretende a largo plazo generar al país como una de las potencias más importantes en Latinoamérica.

Los últimos seis años en el plan de desarrollo el gobierno estableció el sector minero como una de las actividades que mayor empleo y crecimiento económico genera al país, además lo ha catalogado como el sector principal para el crecimiento del PIB y generando inversiones hacia al país.

### **Impactos causados por la minería**

La Defensoría del Pueblo en su Resolución Defensoría No.54 dictamina que: *“toda actividad minera genera grandes impactos sociales y ambientales debido a los cambios que presenta en las regiones donde se lleva a cabo toda actividad de explotación y extracción de minerales”* (Defensoría del Pueblo, 2008).

A continuación, se presentan, los impactos positivos como negativos sobre las regiones donde se realizan trabajos de exploración y explotación de minerales.

### **Comportamiento ambiental del sector**

Por los impactos que genera la minería, se requiere de licencias ambientales, plan de manejo ambiental (PMA) y permisos de usos y aprovechamiento en los recursos naturales. Con esto la etapa de explotación minera requiere de una licencia ambiental y un Plan de Trabajos y Obras (PTO), sin esto es imposible desarrollar cualquier actividad minera en el país. (Decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015)

### **Afectación ecosistemas estratégicos**

Durante el año 2015 existían 364 títulos mineros en territorios de paramos, 3,8% del total de títulos en el país, con una extensión de 79.930 hectáreas (ha) las cuales representan el 4.2% de las zonas de paramos que tiene el país. Según este reporte de la Agencia Nacional Minera (ANM) 123 están en una etapa de construcción y montaje, 89 en exploración y 145 en fase de explotación.

Además, el reporte de Parques Nacionales Naturales (PNN) existen 44 títulos mineros lo que representa al 0.4% del total en áreas protegidas, y en curso 490 solicitudes con un área de 348 mil hectáreas (ha) que corresponde al 3.3%. Para la zona de Reserva Forestal Protegidas (ZRFP), suman 469 mil ha del país, con 57 títulos mineros, es decir el 4.7 % de estas. Actualmente hay 327 solicitudes que abarcan el 56.4 % de áreas protegidas.

<b>COMPONENTE AMBIENTAL</b>		<b>IMPACTOS</b>
<b>HIDRÓSFERA</b>		Afectación de aguas superficiales
		Segregación en las reservas acuíferas
		Cambio en la dinámica de aguas superficiales.
<b>LITÓSFERA</b>		Modificación a gran escala en la geomorfología.
		Contaminación de los Suelos.
<b>ATMÓSFERA</b>		Afectación en la calidad del aire.
		Aumento de temperaturas.
		Cambio de clima local.
		Incremento en niveles de ruido
<b>BIÓSFERA</b>	<b>Suelo</b>	Cambio en las propiedades físicas y químicas del suelo.
	<b>Biodiversidad</b>	Pérdida de coberturas por cambios en el uso del suelo.
		Remoción coberturas vegetales
		Modificación en su biodiversidad
	<b>Espacial</b>	Incremento en demanda de bienes y servicios
	<b>Demográfico</b>	Desplazamiento involuntario de la población
		Dinámica poblacional: Inducción de procesos migratorios por especulación de demanda laboral
	<b>Calidad de vida</b>	Salud: Alteración en las tasas de morbilidad y mortalidad de la población
	<b>Socio-político</b>	Actividades económicas: Pérdida temporal o permanente de suelos agrícolas productivos
		Empleo: Generación de empleo

*Tabla 1 Impactos generados por la explotación minera*

Fuente: Datos de estudio, (adaptado por autor)

### **Transformación de coberturas y matrices de transición**

Forman (1995) afirma que los principales métodos de transformación del paisaje son perforación, fragmentación, disección, contracción y consumación. Específicamente el fenómeno de fragmentación que corresponde con el quiebre de hábitats en pequeños fragmentos, aumenta el número de parches y disminuye la conectividad. Los procesos anteriores de transformación son analizados mediante imágenes de satélite o fotografías tomadas en diferentes momentos, con el fin de identificar el cambio en el patrón del paisaje; y para definir los cambios año a año, se utilizan tablas llamadas matrices de transición.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio, corresponde a la mina de Magnesita con un área de 1.000 hectáreas(ha) otorgadas por la Agencia Nacional de Minería (ANM) (Contrato de Concesión 1836). La empresa encargada de explotar y realizar el beneficio del mineral es Magnesitas del Valle S.A.S. La cantera se localiza en el municipio de Bolívar, departamento de Valle del Cauca.

### 2.2 Bolívar valle del cauca

Municipio localizado hacia el centro – norte del departamento del valle del cauca cuya extensión va desde la cordillera occidental, limitando con el choco hasta el valle del rio cauca. La cabecera municipal llamada Bolívar; está localizada en el valle geográfico del rio cauca, junto con los corregimientos de la Herradura, Ricaurte, Guare y San Fernando. Para la zona montañosa se destacan los corregimientos de primavera, La Tulia, Naranjal, Aguas Lindas, Betania, Cerro azul, El Catre y el Dovio. Bolívar se encuentra a una distancia de 161 Km de Cali – Capital del departamento.

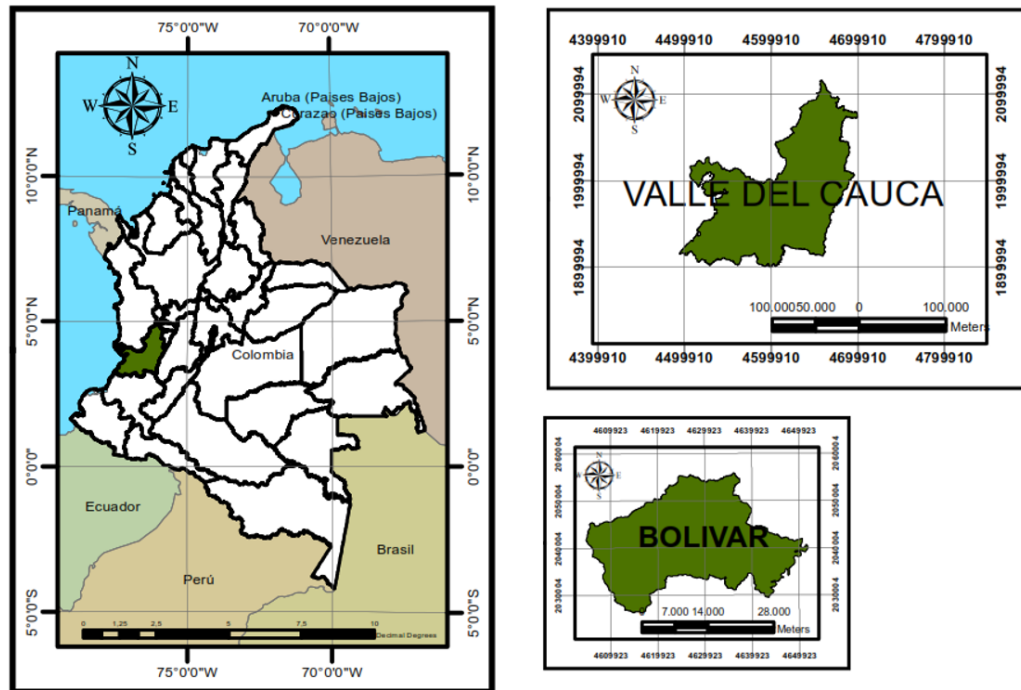


Figura 1 Cartografía zona de estudio (Bolívar – Valle del Cauca)

Fuente: Elaboración Propia, 2022

### **2.3 ERDAS imagine**

El Software ERDAS es utilizado para trabajar con imágenes satelitales y/o fotografías aéreas, el programa tiene la capacidad de interpretar información tipo Ráster y datos vectoriales, convirtiéndolo en una herramienta capaz de cubrir las necesidades en la fotogrametría y SIG.

#### **Ventajas**

- Procesamiento de imágenes Satelitales.
- Es compatible con distintos formatos de base de datos.
- Compatible con todas las imágenes capturadas por satélite
- Genera imágenes en 2D Y 3D.
- La cartografía que genera mediante datos espaciales son de excelente calidad.

### **2.4 ArcGIS**

Es un software que permite recopilar, administrar, analizar y compartir todo tipo de información geográfica, la plataforma genera todo tipo de conocimiento geográfico al servicio de empresas, gobiernos, ciencia y educación. El software está disponible a través de navegadores web, dispositivos portátiles (Celulares).

#### **Ventajas**

- Generar y compartir mapas inteligentes.
- Creación de bases de datos.
- Solución de problemas mediante análisis espacial.

### 3. PROCEDIMIENTO

- Descarga de imágenes satelitales para los años 2015 - 2018 y 2021 tipo Sentinel - 2 para la zona de estudio (Bolívar Valle del Cauca).

Mediante la plataforma de EarthExplorer se realizó la descarga de imágenes tipo Sentinel – 2, donde se escogieron tres periodos (2015, 2018 y 2021) esto con el fin de evidenciar que tipo de cambios se presentaron en la zona de estudio. Además, se tuvo en cuenta que las imágenes no presentaran tanta nubosidad para garantizar una mejor clasificación.

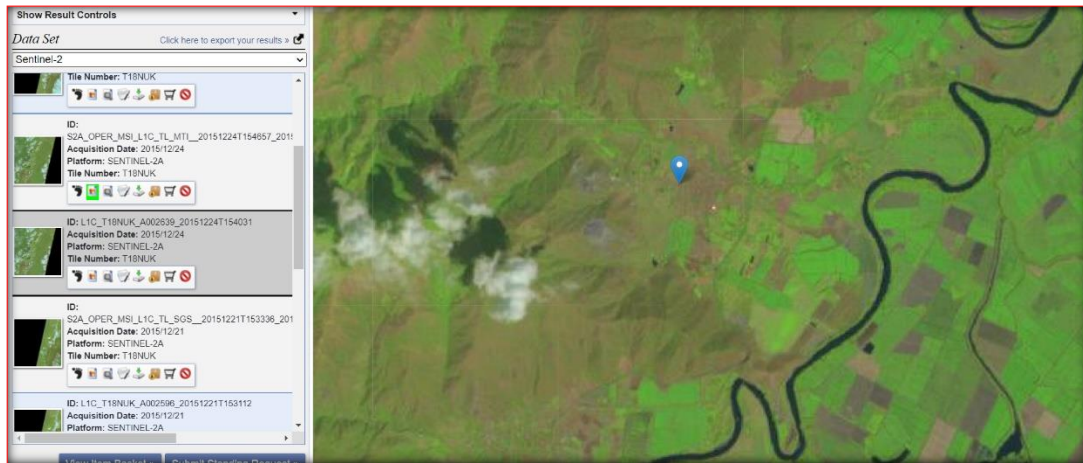


Figura 2 Tipo Sentinel – 2 Bolívar Valle del Cauca Año 2015

Fuente: EarthExplorer



Figura 3 Tipo Sentinel – 2 Bolívar Valle del Cauca Año 2018

Fuente: EarthExplorer

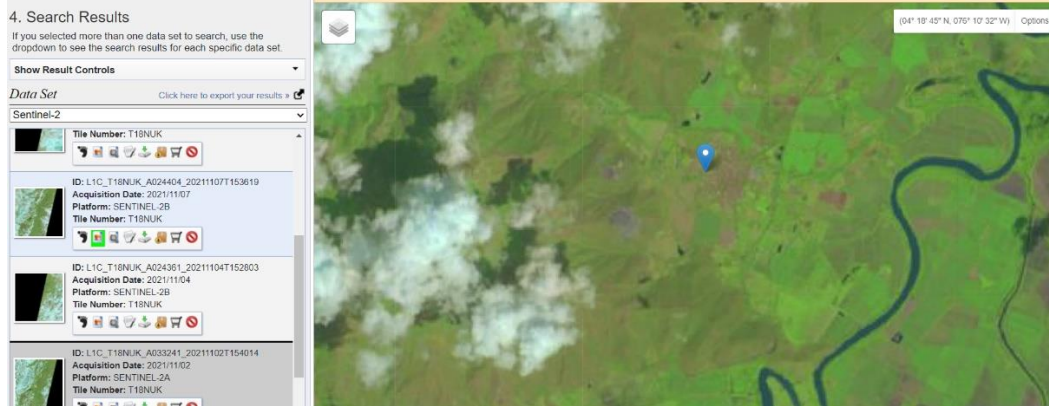


Figura 4 Tipo Sentinel – 2 Bolívar Valle del Cauca Año 2021

Fuente: EarthExplorer

- Recorte de imagenes mediante el software ERDAS IMAGINE

Con ayuda del software ERDAS IMAGINE se generó el recorte de imágenes a 8 bits, de esta forma se obtuvo con mayor claridad el tipo de uso que se está dando al suelo en la zona de estudio. (vegetación, cultivos, minería, población).

Imagen en 8 Bits año 2015	Imagen en 8 Bits año 2018	Imagen en 8 Bits año 2021

Tabla 2 Recorte de imágenes a 8 Bits Años 2015, 2018 y 2021

Fuente: Elaboración Propia, 2022

- Generar matrices de varianza y correlación

Utilizando la herramienta Model Maker se planteó mediante un diagrama de decisión el cálculo de las matrices de Covarianza y correlación.

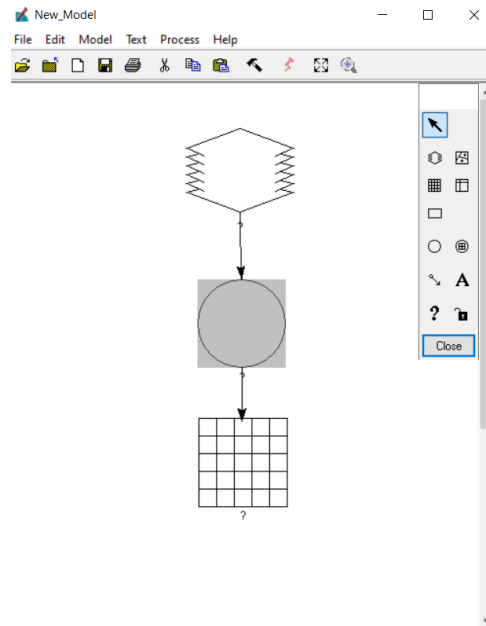


Figura 5 Modelo Model Maker para generar matrices de covarianza y correlación

Fuente: Software ERDAS – 2014

La herramienta Model Mmaker genera las matrices de covarianza y correlación, con estos datos se obtuvo el valor del índice óptimo (OIF) (Ver Resultados y Discusión tablas 8, 9 y 10 donde se obtiene las Matrices de Covarianza y Correlación).

Bandas	1	2	3	4	5	6
Año 2015	72,375	61,794	48,402	50,288	147,718	102,677
Año 2018	304,415	174,537	187,430	169,533	458,399	382,659
Año 2021	73,615	62,665	49,030	50,951	149,958	104,027

Tabla 3 Matriz covarianza año 2015

Fuente: Elaboración Propia, 2022



- **Calculo Del Factor Índice Optimo (OIF)**

El valor del OIF se utilizó para escoger la combinación a color optima de tres bandas de una imagen satelital, esta combinación optima indica la mayor cantidad de información junto con la menor cantidad de redundancias y se obtiene mediante la siguiente formula:

$$OIF = \frac{\text{Suma desviacion estandar de 3 bandas individuales}}{\text{Suma de coeficiente de correlacon para tres bandas}}$$

COMBINACIONES						
BANDAS			SUMA DESV_ESTANDAR	SUMA COEF_REL	VALOR OIF	PERIODO
3	5	6	298,799	2,509	119,071	2015
3	5	6	1028,489	2,802305548	367,015	2018
4	5	6	304,937	2,499	121,995	2021

*Tabla 4 Calculo del valor OIF para los años 2015, 2018 y 20121*

*Fuente: Elaboración Propia, 2022*

(Ver Resultados y Discusión tablas 8, 9 y 10 donde se obtiene la óptima combinación para una imagen satelital tipo SENTINEL.)

- **Clasificación de clases mediante imágenes satelitales**

Mediante el software ArcGIS se creó una capa de puntos generando una clasificación a cada cobertura, asignando los siguientes valores:

Cobertura	Valor
Capa vegetal	1
Minería	2
Cultivos	3
Población	4
Nubes	5

*Tabla 5 Asignación de valor para la clasificación de coberturas*

*Fuente: Elaboración Propia, 2022*

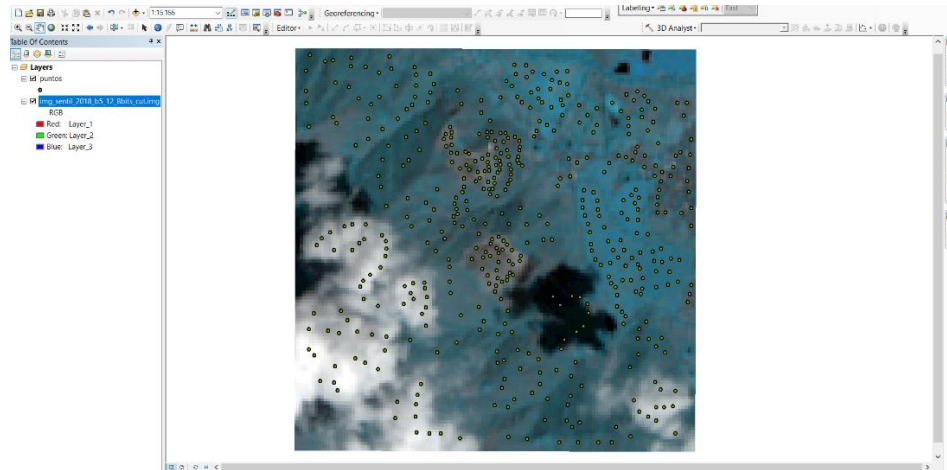


Figura 6 Creación capa de puntos para la clasificación de coberturas con base a una imagen satelital tipo Sentinel.

Fuente: Software ArcGIS - 2015

- Creación de firmas

Con la herramienta Create Signatures se generó un archivo para las firmas espectrales, permitiendo seleccionar las áreas de interés y así generar un archivo en formato gráfico.

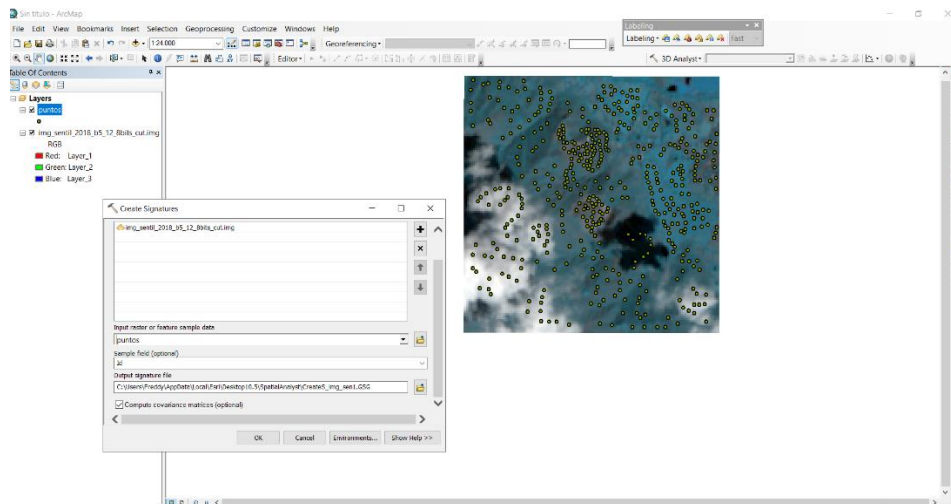


Figura 7 Creación de firmas espectrales.

Fuente: Software ArcGIS - 2015

- Clasificación de máxima verosimilitud

Con la herramienta Maximum Likelihood Classification creo un archivo tipo Raster, de esta forma la clasificación asume una distribución normal para que los pixeles pertenezcan a cada una de las clases que fueron asignadas.

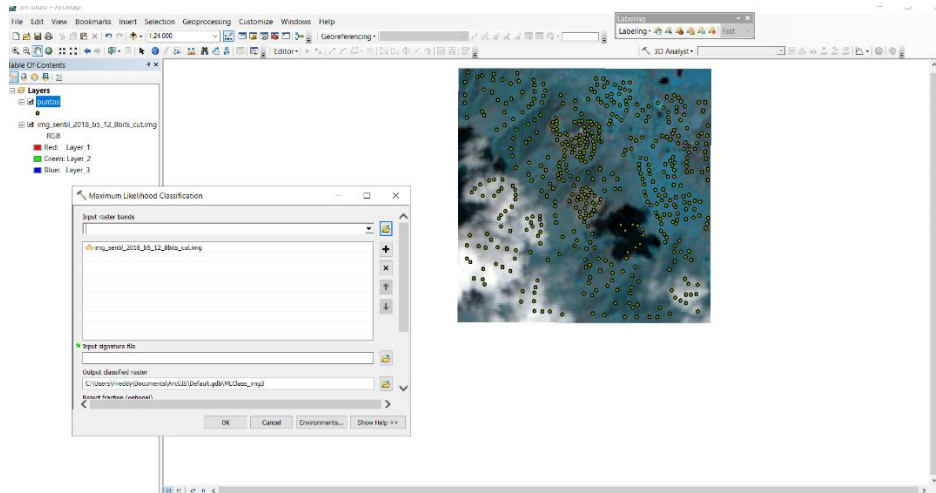


Figura 8 Clasificación de máxima verosimilitud.

Fuente: Software ArcGIS - 2015

- Clasificación supervisada

Mediante los procedimientos anteriores se obtuvo una clasificación supervisada, la cual permitió identificar los valores en cada pixel entre las bandas asignadas que se generaron con ayuda de las imágenes Sentinel – 2. El resultado que género es un mapa de uso del suelo o de cobertura vegetal.

Cobertura	Asignación
Capa Vegetal	
Minería	
Cultivos	
Población	
Nubes	

Tabla 6 Asignación de simbología para la clasificación supervisada

Fuente: Elaboración Propia, 2022

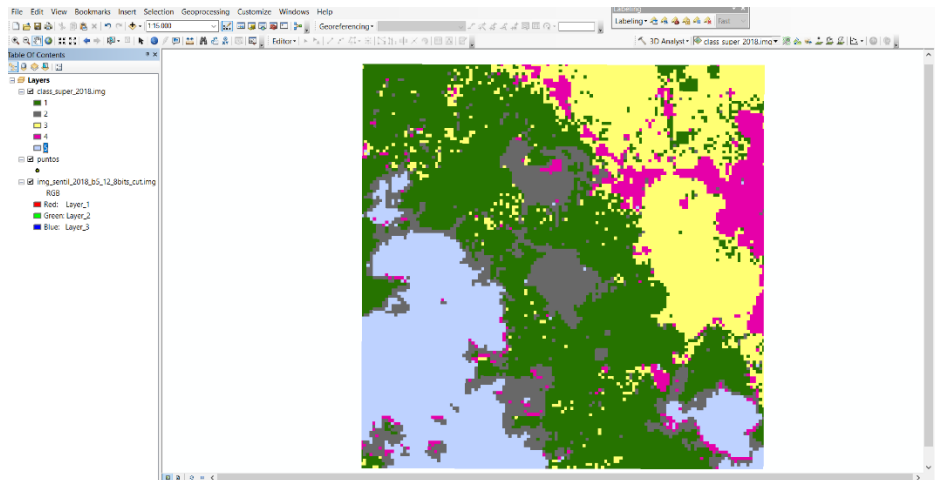


Figura 9 Clasificación supervisada.

Fuente: Software ArcGIS - 2015

- De Ráster a Polígono

Con la herramienta de Ráster To Polygon se realizó un cambio de atributos esto con el fin de generar la unión de imágenes y analizar qué tipo y cambios han sufrido el suelo y la cobertura vegetal en la zona de estudio.

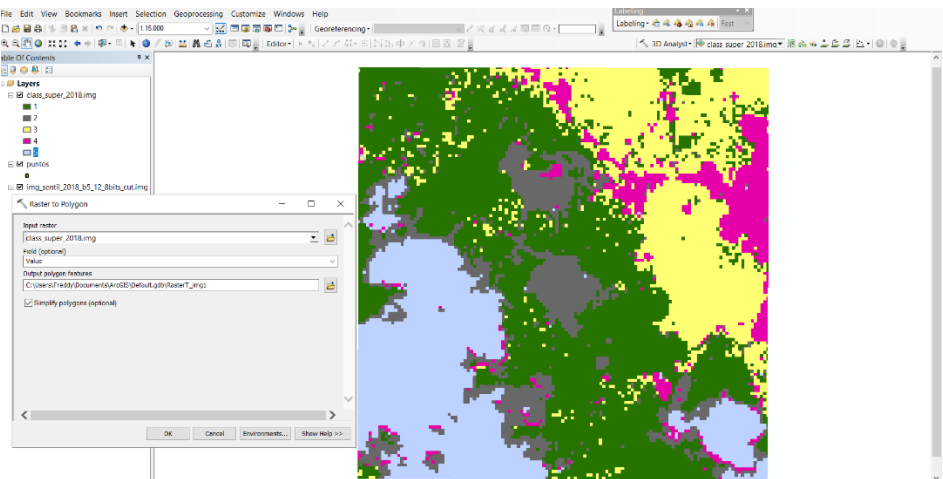
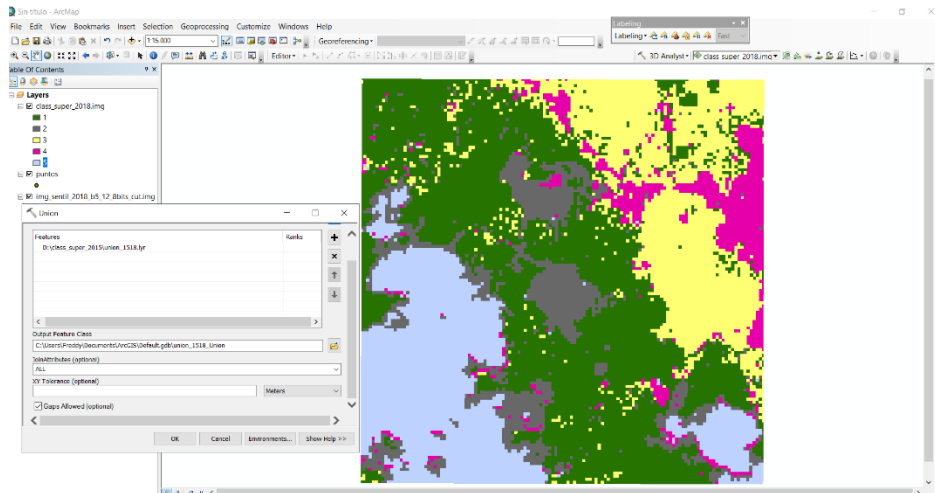


Figura 10 Conversión de Ráster a Polígono

Fuente: Software ArcGIS – 2015

- Unión

Con la clasificación Supervisada se realizó la unión de imágenes, en este caso 2015 - 2018 y 2018 – 2021, esto para obtener una comparación de que coberturas han sufrido cambios durante los periodos ya mencionados.



*Figura 11 Unión de imágenes tipo polígono años 2015 -2018 y 2018 - 2021*

*Fuente: Software ArcGIS - 2015*

- Generar sentencias

Mediante el lenguaje de programación python se realizó un algoritmo para asignar a cada cobertura el nombre que corresponde.

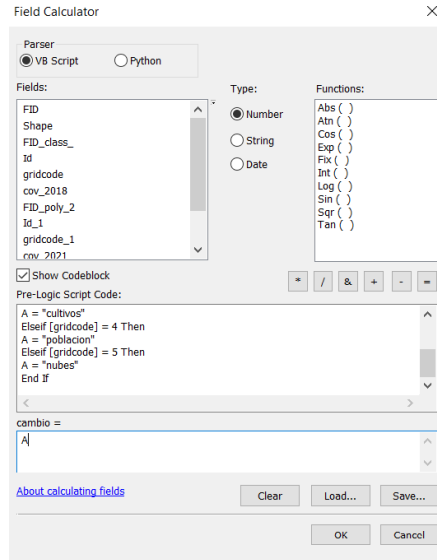


Figura 12 Asignación de sentencias mediante la herramienta Field Calaculator

Fuente: Software ArcGIS - 2015

- Resultados

Siguiendo los procedimientos anteriormente mencionados se obtuvo una clasificación de coberturas donde se puede visualizar que tipo de cambios han sufrido o han permanecido iguales al pasar de los años.

Clasificación	Simbología
Cambio	
Sin cambio	
Nubes	
Sin dato en una imagen	

Tabla 7 Asignación de simbología para los cambios en la clasificación supervisada

Fuente: Elaboración Propia, 2022

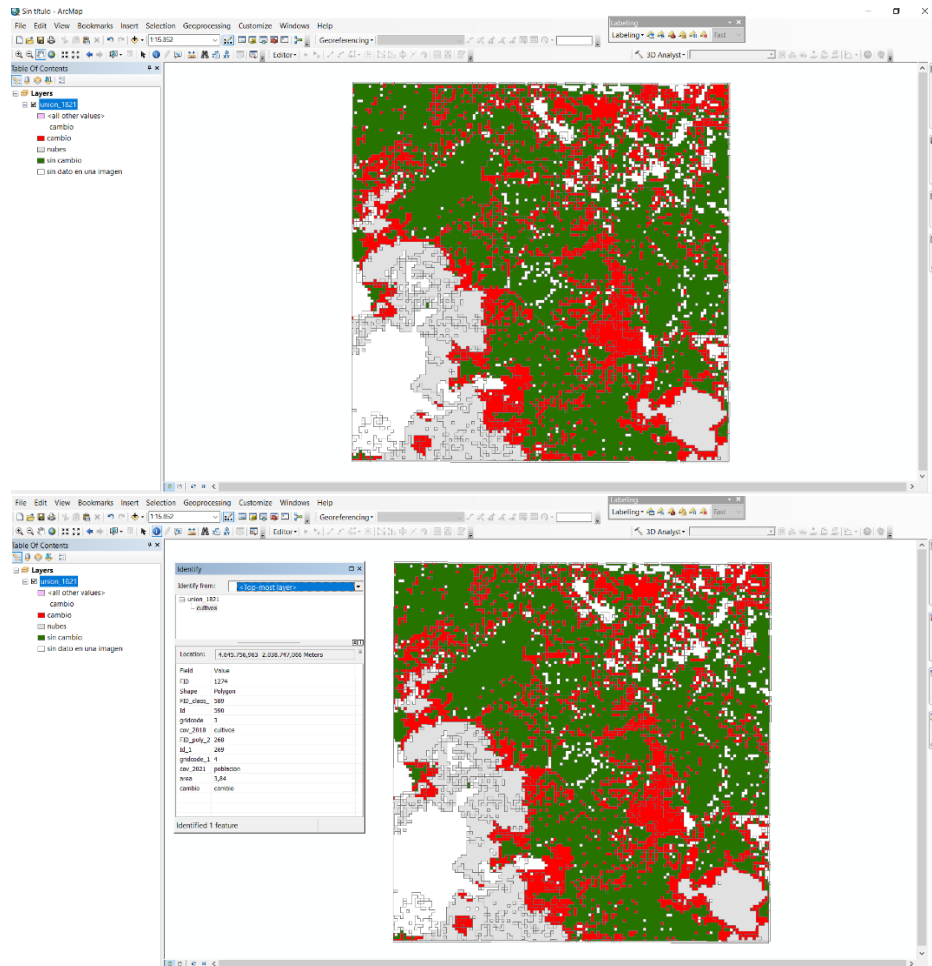


Figura 13 Tipo de cambios que presenta las coberturas durante los periodos 2015 – 2018 y 2018 - 2021

Fuente: Software ArcGIS - 2015

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La minería a cielo abierto a generado en los últimos años un cambio significativo en coberturas y uso del suelo, provocando una serie de impactos ambientales como sociales que en la actualidad se encuentran en investigación viendo que interpretación o cambios están sufriendo por la participación directa o indirecta en toda actividad minera. Es por estas razones que el municipio de Bolívar Valle del Cauca la minería ha sido una actividad económica a mediana escala en extracción de magnesita, lo cual es de interés saber qué cambios ha generado la extracción de dicho mineral.

Durante la última década el gobierno ha buscado que toda actividad minera se desarrolle de una forma responsable, generando un impacto positivo en estos territorios, para el caso del departamento del Valle del Cauca, es muy preocupante pues la explotación ilegal ha afectado el medio ambiente, la economía y la seguridad del departamento. Según el Ministerio de Minas y Energía, este tipo de actividades ha generado inviábiles varios proyectos con proyecciones positivas hacia el departamento. Actualmente, las zonas más críticas de explotación minera son las del pacifico, viéndose afectada por la extracción de oro, material de arrastre que se desarrolla sobre el Rio Cauca. El ministerio de Minas y Energía ha puesto en marcha políticas para frenar la extracción ilegal, logrando importantes avances evitando consecuencias sociales, ambientales y económicas a mediano y largo plazo.

En el país la minería tiene un papel trascendental hacia el entorno social y económico muestra de esto son los registros entre el año 2010 y 2015, generando el 19.6% en exportaciones y el 16% en inversiones extranjeras (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

Durante el proceso de combinación de bandas, las matrices de covarianza mostraron los valores adecuados para obtener la mejor “resolución”, así se pudo interpretar que tipo de coberturas tenía la zona de estudio.

<b>Bandas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	72,375	62,016	51,520	50,435	91,908	78,937
<b>2</b>	62,016	61,794	53,985	54,183	78,951	64,138
<b>3</b>	51,520	53,985	48,402	48,919	66,406	52,851
<b>4</b>	50,435	54,183	48,919	50,288	67,398	52,655
<b>5</b>	91,908	78,951	66,406	67,398	147,718	120,001
<b>6</b>	78,937	64,138	52,851	52,655	120,001	102,677

*Tabla 8 Matriz covarianza año 2015*

*Fuente: Elaboración Propia, 2022*



Bandas	1	2	3	4	5	6
1	304,415	223,324	221,709	204,53	356,213	329,549
2	223,324	174,537	178,996	168,126	268,397	241,487
3	221,709	178,996	187,430	177,467	270,043	239,929
4	204,53	168,126	177,467	169,533	253,631	223,048
5	356,213	268,397	270,043	253,631	458,399	412,594
6	329,549	241,487	239,929	223,048	412,594	382,659

Tabla 9 Matriz covarianza año 2018

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Bandas	1	2	3	4	5	6
1	73,615	63,062	52,380	51,279	93,558	80,346
2	63,062	62,665	54,718	54,924	80,493	65,473
3	52,380	54,718	49,030	49,562	67,714	53,972
4	51,279	54,924	49,562	50,951	68,702	53,767
5	93,558	80,493	67,714	68,702	149,958	121,785
6	80,346	65,473	53,972	53,767	121,785	104,027

Tabla 10 Matriz covarianza año 2021

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Para obtener del índice óptimo OIF se tuvo en cuenta los datos que arrojaron las matrices de covarianza, dando como resultado la combinación de tres bandas para una imagen tipo SENTINEL.

B1	B2	B3	B4	B5	B6	
72,375	61,794	48,402	50,288	147,718	102,677	
Combinaciones						
Orden	Bandas			SUMA DESV_ESTANDAR	SUMA COEF_REL	Valor OIF
1	1	2	3	182,573	2,784	65,558
2	1	2	4	184,458	2,735	67,435
3	1	2	5	281,888	2,642	106,672
4	1	2	6	236,848	2,648	89,436
5	1	3	4	171,066	2,698	63,404
6	1	3	5	268,496	2,544	105,512
7	1	3	6	223,456	2,535	88,119
8	1	4	5	270,382	2,506	107,856
9	1	4	6	225,341	2,484	90,699
10	1	5	6	322,771	2,778	116,148
11	2	3	4	160,486	2,950	54,390
12	2	3	5	257,916	2,598	99,243
13	2	3	6	212,875	2,541	83,743
14	2	4	5	259,801	2,580	100,685
15	2	4	6	214,761	2,509	85,563
16	3	4	5	246,409	2,558	96,295
17	3	4	6	201,369	2,474	81,393
18	3	5	6	298,799	2,509	119,071
19	4	5	6	300,684	2,489	120,797

Tabla 11 Calculo del valor OIF 2015

Fuente: Elaboración Propia, 2022

B1	B2	B3	B4	B5	B6	
304,415	174,537	187,430	169,533	458,399	382,659	
Combinaciones						
Orden	Bandas			SUMA DESV_ESTANDAR	SUMA COEF_REL	Valor OIF
1	1	2	3	666,383	2,886	230,848
2	1	2	4	648,486	2,846	227,8148
3	1	2	5	937,352	2,871	326,4546
4	1	2	6	861,612	2,868	300,3347
5	1	3	4	661,379	2,824	234,1943
6	1	3	5	950,245	2,803	339,0064
7	1	3	6	874,505	2,789	313,4837
8	1	4	5	932,348	2,763	337,3543
9	1	4	6	856,608	2,741	312,4482
10	1	5	6	1145,474	2,904	394,4103
11	2	3	4	531,502	2,962	179,4045
12	2	3	5	820,368	2,859	286,8618
13	2	3	6	744,628	2,819	264,0561
14	2	4	5	802,471	2,836	282,9515
15	2	4	6	726,7310833	2,787	260,7087
16	3	4	5	815,3642297	2,826	288,4549
17	3	4	6	739,6239906	2,767	267,284
18	3	5	6	1028,489	2,802305548	367,015
19	4	5	6	1010,592	2,770	364,747

Tabla 12 Calculo del valor OIF 2018

Fuente: Elaboración Propia, 2022

B1	B2	B3	B4	B5	B6	
73,615	62,665	49,030	50,951	149,958	104,027	
Combinaciones						
Orden	Bandas			SUMA DESV_ESTANDAR	SUMA COEF_REL	Valor OIF
1	1	2	3	185,312	2,787	66,479
2	1	2	4	187,232	2,737	68,38
3	1	2	5	286,239	2,649	108,044
4	1	2	6	240,308	2,657	90,425
5	1	3	4	173,597	2,700	64,276
6	1	3	5	272,605	2,55	106,819
7	1	3	6	226,674	2,545	89,041
8	1	4	5	274,525	2,513	109,210
9	1	4	6	228,594	2,493	91,659
10	1	5	6	327,601	2,783	117,687
11	2	3	4	162,647	2,950	55,120
12	2	3	5	261,654	2,607	100,358
13	2	3	6	215,723	2,553	84,472
14	2	4	5	263,575	2,588	101,831
15	2	4	6	217,644	2,521	86,3167
16	3	4	5	249,940	2,567	97,355
17	3	4	6	204,009	2,485	82,067
18	3	5	6	303,016	2,520	120,221
19	4	5	6	304,937	2,499	121,995

Tabla 13 Calculo del valor OIF 2021

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Durante el periodo 2015 – 2018 la zona de extracción minera presento un cambio de coberturas en área de 33,64 ha, esto quiere decir que zonas donde se estaban presentando trabajos de exploración del yacimiento pasaron a ser zonas de explotación minera. También se puede evidenciar que zonas de explotación minera pasaron a ser de cobertura vegetal (reforestación y restauración de la capa vegetal) con un área de 13,14 ha.

En el caso de cambio de cobertura vegetal a minería presento una transformación de 32,24 ha, esto nos indica que durante este tiempo se llevaron a cabo trabajos de exploración y preparación en el yacimiento.

Cuenta de cambio de áreas (ha) año 2015 - 2018	Tipo de cobertura						
	Sin datos en imagen	Cultivos	Minería	Nubes	Población	Vegetación	Total general
Sin datos en imagen		0,04		0,82	0,14	1,61	2,61
Cultivos	2,99	76,03	14,66	38,36	8,34	68,32	208,7
Minería	0,08	2,7	33,64	5,64	2,18	13,14	57,38
Nubes	0,02	0,98	5,76	33,4	1,28	1,04	42,48
Población	4,14	9,54	1,44	4,52	26,88	11,04	57,56
Vegetación	3,22	48,08	32,24	49,66	10,16	176,96	320,32
<b>Total general</b>	<b>10,45</b>	<b>137,37</b>	<b>87,74</b>	<b>132,4</b>	<b>48,98</b>	<b>272,11</b>	<b>689,05</b>

Tabla 14 Cuenta de cambio de áreas (ha) año 2015 - 2018

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Para el periodo 2018 – 2021 las zonas de explotación minera tuvieron un cambio menor que al periodo anterior, esto quiere decir que zonas que anteriormente fueron exploradas ahora se concentran en explotación minera, por otra parte, el aumento de coberturas que se evidencia es de 26,56 ha esto quiere decir que el incremento se ve reflejado en cuestión de avance de explotación que ha tenido la zona de estudio.

La compensación hacia la capa vegetal en este periodo es mayor 42,4 ha las cuales fueron reforestadas con la vegetación oriunda a la zona de explotación, así mismo zonas de cobertura vegetal que pasaron a minería fue menor con un área de 10,78 ha, esto nos puede indicar que durante este periodo solo se llevaron a cabo trabajos de explotación minera, mientras en el periodo anterior se llevaron a cabo trabajos de exploración minera.

Cuenta de cambio de áreas (ha) año 2018 - 2021	Tipo de cobertura					
	Tipo de cobertura	Sin datos en imagen	Cultivos	Minería	Población	Vegetación
Sin datos en imagen		0,94	0,02	1,85	1,4	4,21
Cultivos	20,4	77,16	0,32	24,97	14,52	137,37
Minería	11,92	5,9	26,56	0,96	42,4	87,74
Nubes	42,39	26,64	2,62	3,7	57,05	132,4
Población	8,72	6,22	0,8	26,18	7,06	48,98
Vegetación	16,89	39,53	10,78	13,8	191,11	272,11
<b>Total general</b>	<b>100,32</b>	<b>156,39</b>	<b>41,1</b>	<b>71,46</b>	<b>313,54</b>	<b>682,81</b>

Tabla 15 Cuenta de cambio de áreas (ha) año 2018 - 2021

Fuente: Elaboración Propia, 2022

De acuerdo a esto; la extracción de magnesita en el municipio de Bolívar tiende a mejorar en aspectos ambientales como sociales, pues las zonas donde se ha extraído el mineral han sido restauradas y se ha mejorado el impacto visual que esto genera, en cuestión social el municipio se ha visto beneficiado directa o indirectamente con las fuentes de empleo y regalías que se le genera al municipio.

## 5. CONCLUSIONES

El contrato de concesión 1836 durante los años 2015 al 2021 presentó un aumento en sus actividades mineras esto se vio reflejado en las coberturas que pasaron de vegetación a minería. Además de esto se ve una compensación en las zonas donde se presentaron trabajos de exploración como explotación que pasaron a ser restauradas con la vegetación nativa de la zona.

Durante el periodo 2015-2018 las actividades mineras fueron mayores que al periodo 2018 – 2021 esto da una idea que en este periodo los trabajos se concentraban más en la exploración del yacimiento, mientras en el segundo periodo los trabajos estaban enfocados hacia la explotación.

En el periodo 2015 – 2018 la zona de extracción minera presentó un cambio de coberturas en área de 33,64 ha, esto quiere decir que zonas donde se estaban presentando trabajos de exploración del yacimiento pasaron a ser zonas de explotación minera. También se puede evidenciar que zonas de explotación minera pasaron a ser de cobertura vegetal (reforestación y restauración de la capa vegetal) con un área de 13,14 ha.

Para el periodo 2018 – 2021 las zonas de explotación minera tuvieron un cambio menor que al periodo anterior, esto quiere decir que zonas que anteriormente fueron exploradas ahora se concentran en explotación minera, por otra parte, el aumento de coberturas que se evidencia es de 26,56 ha esto quiere decir que el incremento se ve reflejado en cuestión de avance de explotación que ha tenido la zona de estudio

La mina actualmente no requiere de intervención hacia nuevas zonas, debido a que los trabajos que actualmente se llevan a cabo suplen con la necesidad de la empresa.



## **6. RECOMENDACIONES**

El proyecto abarcó un cambio en las coberturas y uso del suelo en el contrato de concesión 1836 ubicado en el municipio de Bolívar Valle del Cauca, el cual puede ser de ayuda a posteriores estudios sobre minería a mediana escala, los cuales podrían ser:

1. Cambio en coberturas naturales
2. Alteración de suelos y fuentes hídricas
3. Alteración y emigración de la flora y fauna
4. Zonificación

## 7. REFERENCIAS

Rodríguez Eraso, N. 2011. Deforestation and change in land cover in Colombia: spatial dynamics, factors of change and modeling. Colombia. Creaf. 127 p. Accessed May 20. 2018. Available at [https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2011/hdl\\_10803\\_84004/nre1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2011/hdl_10803_84004/nre1de1.pdf)

Saldaña, M. 2015. Thesis. Determination of the change in vegetation cover in the Municipal Conservation Area "Bosques de Huamantanga", Using Satellite Images. Jaén, Peru. 12p.

Rodríguez Eraso, N. 2011. Deforestation and change in land cover in Colombia: spatial dynamics, factors of change and modeling. Colombia. Creaf. 127 p. Consulted 20 May. 2018. Available at [https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2011/hdl\\_10803\\_84004/nre1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2011/hdl_10803_84004/nre1de1.pdf)

Di Gregorio, A. Jansen, L. 2000. Roof classification system Terrestrial (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Service of Environment and Natural Resources. Rome 2002 179 p. Consulted 15 May. 2018. Available at <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/X0596e01.htm#TopOfPage>

Alcántara Boñón, G. 2014. Specialized study: Analysis of changes in land cover and use. Cajamarca: Cajamarca Regional Government. Cajamarca. Peru. 255 p.

Ariza, A. 2013. Description and correction of Landsat 8 products. Bogotá. Colombia. Agustín Codazzi Geographical Institute (IGAC) .46 p. Consulted 4 may. 2018. Available at <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM L8.R1.pdf>

Richters, E. J. (1995). Manejo del suelo de la tierra en América Central a través del aprovechamiento sostenible del recurso tierra. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Retrieved from [https://books.google.es/books?id=jP8zb7CICMUC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=jP8zb7CICMUC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Palacios Bermúdez, E., & Erika. (2016). Análisis multitemporal en la cobertura boscosa de la zona norte del departamento del Chocó 1990-201

Valencia, G. Anaya, J. 2009. Implementation of the Corine Land methodology Cover with Ikonos images. Colombia. Engineering Universities Magazine from Medellín. 14 p. Consulted 26 May. 2018. Available at <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15/v8n15a04.pdf>

Vásquez Jara, R. Adriana Palma, P. Regal Gastelumendi, F. 2015. Note Methodology of the Land Use sector, Land Use Change and Forestry (USCUSS). Peru. La Molina National Agrarian University. 66 p.