



**PROYECCIÓN DEL POSIBLE  
IMPACTO HÍDRICO, DE CAPA  
VEGETAL Y DE SUELO, GENERADO  
EN EL APROVECHAMIENTO DEL  
ORO - CASO MINA LA COLOSA,  
CAJAMARCA, TOLIMA MEDIANTE  
IMÁGENES OBTENIDAS POR  
SENSORES REMOTOS**

**Ing. Aureliano Campos Orjuela  
Econ. Freddy Hernando Hernández Camelo**

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
Manizales, Colombia

2014

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

# **Proyección del Posible del Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos**

**Ing. Aureliano Campos Orjuela**  
**Econ. Freddy Hernando Hernández Camelo**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director (a):  
Ph.D. Jhon Fredy Betancur

Codirector (a):  
M.Sc. William Benigno Barragán Zaque

Línea de Investigación:  
Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
Manizales, Colombia

2014

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**Ph.D. Jhon Fredy Betancur**  
**Director**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

*Considero a cada hombre como un deudor de su profesión, y ya que de ella recibe sustento y provecho, así debe procurar mediante el estudio servirle de ayuda y ornato.*

*Sir Francis Bacon*

## **Agradecimientos**

A nuestros maestros que gracias a su tiempo y comprensión fue posible la culminación de esta meta tan importante en nuestras vidas, así como a todas las personas que nos acompañaron durante la realización de este trabajo de investigación.

## Resumen

La presente investigación pone de manifiesto la necesidad de la utilización de la teledetección para identificar los impactos ambientales que se presentarán en el municipio de Cajamarca-Tolima con la entrada en operación de la Mina de oro La Colosa, la cual será operada por la Anglo Gold Ashanti; dentro de las actividades que se realizan para identificar y cuantificar los impactos es muy común la inspección en campo para la toma de muestras, la razón de utilizar imágenes de satélite y fotografías aéreas está dada por que facilita la adquisición de la información sin estar en contacto físico con el área geográfica a estudiar y permite de manera preliminar dado el caso de manera continua la identificación y seguimiento de los impactos producidos por este tipo de actividad. Según estimativos de la firma, se encuentran cerca de 24.000.000 de Onzas Troy en un área de aproximadamente 517 hectáreas, los cálculos realizados por los autores de la presente investigación por medio de la utilización de sensores remotos, mediante el diseño de diagramas de bloques, modelos de elevación digital y cartografía de la zona, plantean que para llevar a cabo esta tarea, se ocasionará la extracción de cerca de 746.481.600 toneladas de material, con un volumen aproximado de  $0.439 \text{ km}^3$  lo que afectará a los habitantes de las zonas cercanas a las cuencas hidrográficas del Bermellón, Coello, La Guala y a los usuarios del Distrito de Riego USOCOELLO, en definitiva de manera permanente aproximadamente a 2600 habitantes y a más de siete (7) municipios y ciento sesenta y nueve (169) veredas de manera indirecta.

**Palabras clave:** Sensores remotos, Cartografía, Modelos de Elevación Digital, Onza Troy, Distrito de riego, Cuenca hidrográfica, Diagrama de bloques.

## **Abstract**

This research highlights the need for the use of remote sensing for identifying environmental impacts will be presented in the city of Cajamarca, Tolima with the entry into operation of the gold mine Colossae, which will be operated by the Anglo Gold Ashanti, one of the activities that are performed to identify and quantify the impacts is very common for field inspection sampling, the reason for using satellite imagery and aerial photographs is given by facilitating the acquisition of information without being in physical contact with the geographic area and allows to study preliminarily given continuously for the identification and monitoring of the impacts of this type of activity. According to estimates of the firm, are close to 24,000,000 troy ounces in an area of approximately 517 hectares, the calculations performed by the authors of this research through the use of remote sensing by designing block diagrams , digital elevation models and maps of the area, raise that to carry out this task, it will result in the removal of about 746 481 600 tons of material, with an approximate volume of 0.439 km<sup>3</sup> which will affect the dwellers watershed near the Vermilion, Coello, La Guala and users Usocoello Irrigation District, ultimately permanently about 2600 inhabitants and over 7 townships and 169 villages indirectly.

**Keywords:** Remote Sensing, Cartography, Digital Elevation Models, Ounce Troy, irrigation district, water catchment, Block Diagram.

# Contenido

	Pag.
Agradecimientos .....	VI
Resumen.....	VII
Abstract .....	VIII
Introduction .....	1
CAPITULO 1 .....	3
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. Justificación .....	4
1.2. Objetivo general.....	5
1.2.1 Objetivos específicos .....	6
1.3. Marco teórico.....	6
1.4. Estado del arte .....	7
1.4.1. Aplicaciones de los sensores remotos.....	8
1.4.2. Aplicaciones de los sensores remotos en el estudio de impactos mineros caso Colombia. ....	9
CAPITULO 2 .....	11
2. ABORDAJE METODOLOGICO .....	11
2.1. Tipo de investigación .....	11
2.2. Trabajo de campo-Determinación de vértices GPS.....	11
2.3. Esquema metodológico.....	12
2.4. Materiales y métodos.....	12



Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

2.5.	Informe y descripción del procedimiento.....	13
2.5.1.	Visita al área objeto del trabajo.....	13
2.6.	Coordenadas aproximadas.....	14
2.7.	Los obstáculos y el posterior proceso de la información obtenida mediante GPS.....	14
2.8.	El Datum.....	15
2.8.1.	Vértice geodésico para soportar el posicionamiento en campo.....	15
2.9.	Receptor y antena utilizados.....	16
2.10.	Efemérides.....	16
2.11.	Toma de información.....	16
2.12.	Procesamiento de la información tomada en campo.....	17
2.13.	Observaciones.....	17
2.14.	Gráfica de campo.....	17
2.13.1.	Coordenadas wgs 84 geográficas obtenidas del cálculo.....	18
	Planas Gauss Origen Bogotá.....	18
2.15.	Generación de Ortofotomosaico Cajamarca sector Mina la Colosa- Determinación de vuelos en la zona.....	19
2.16.	Escaneo fotogramétrico.....	20
2.17.	Organización del material.....	20
2.18.	Corrección radiométrica.....	21
2.19.	Determinación de las zonas ideales para posicionamiento GPS.....	22
2.20.	Aerotriangulación por haces de rayos.....	23
2.20.1.	Configuración del bloque.....	23
2.20.2.	Orientación Interior.....	24
2.20.3.	Orientación Relativa.....	24

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

2.20.4.	Multimedición .....	25
2.20.5.	Colocación del Fotocontrol .....	25
2.20.6.	Resultados de la Aerotriangulación.....	26
2.21.	Generación de ortofoto y mosaico.....	27
CAPITULO 3	.....	30
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	30
3.1.	Mapas de uso actual, potencial, de conflicto de usos del suelo e hídrico en Cajamarca-Tolima.....	30
3.1.1.	Mapa de uso actual.....	30
3.1.2.	Mapa de uso potencial.....	31
3.1.3.	Mapa de conflicto de usos del suelo. ....	32
3.1.4.	Mapa hídrico. ....	33
3.2.	PROYECCIÓN DE LA CAPA VEGETAL, EMISIONES Y AFECTACIÓN DE LA RED DE DRENAJES CON OCASIÓN DE LA OPERACIÓN MINERA. ....	34
3.2.1.	Afectación de la capa vegetal y red de drenajes.....	34
3.2.2.	Proyecciones cartográficas emisiones producidas en la explotación minera. 36	
3.2.3.	Proyección definitiva explotación minera y curvas de nivel.....	38
4.	CONCLUSIONES.....	42
5.	RECOMENDACIONES .....	45
6.	BIBLIOGRAFIA.....	48

# Listado de figuras

	Pag.
Figura 2-1: Identificación del área objeto de estudio.....	12
Figura 2-2: Total de satélites visibles.....	16
Figura 2-3: Esquema de campo. ....	17
Figura 2-4: Puntos de control 1, 2 y 3.....	18
Figura 2-5: Líneas de Vuelo. ....	19
Figura 2-6: Localización relativa del bloque, imagen de satélite tomada de Google Earth y composición de fotos. ....	20
Figura 2-7: Quicklook Proyecto Mina la Colosa .....	21
Figura 2-8: Imagen original proveniente del Escaneo anterior al ajuste de curvas radiométricas.....	21
Figura 2-9: Distribución de foto control y escogencia de los mejores sitios de posicionamiento. ....	22
Figura 2-10: Puntos Escogidos de Foto-Control. ....	22
Figura. 2-11: Aero-triangulación por haces de rayos .....	23
Figura. 2-12: Orientación interior, Faja 1: C2407-73 a C2407_74.....	23
Figura. 2-13: Orientación interior. ....	24
Figura 2-14: Orientación Relativa. ....	24
Figura 2-15: Distribución de tie points. ....	25
Figura 2-16: Distribución del foto-control. ....	25
Figura 2-17: Nivel 0 de ajuste radiométrico. ....	27
Figura 2-18: Nivel 1 de ajuste radiométrico. ....	27
Figura 2-19: Corrección definitiva. ....	27
Figura 2-20: Localización general de la Mina en el POMCA. ....	28
Figura 2-21: Modelo de elevación digital. ....	29
Figura 2-22: Modelo de elevación digital. ....	29
Figura 3-1: Mapa de uso actual. ....	30
Figura 3-2: Mapa de uso potencial. ....	31
Figura 3-3: Mapa de conflicto de usos del suelo.....	32
Figura 3-4: Mapa hídrico. ....	33
Figura 3-5: Mapa pérdida cobertura vegetal. ....	34
Figura 3-6: Mapa afectación de red de drenajes.....	35
Figura 3-7: Mapa de emisiones. ....	36
Figura 3-8: Volumen proyectado de explotación minera. ....	38
Figura 3-9: Curvas de nivel volumen de explotación.....	39
Figura 3-10: Proyección terraceo. ....	40
Figura 3-11: Aspecto definitivo del área explotada. ....	40
Figura 3-12: Comparativo área sin intervenir vs área intervenida a lo largo de los 15 años de explotación. ....	41

## Listado de tablas

	Pag.
Tabla 2-1: Relacion fotos Proyecto Mina La colosa. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 3-1: Calculos toneladas de suelo a extraer .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 3-2: Volumen total de extraccion. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Introduction

Colombia es un país con una amplia riqueza mineral a nivel mundial, y entre ésta se destaca la aurífera la cual se practica en el país desde antes de la colonia.

Las exportaciones de oro de nuestro país en el último quinquenio rondan por los U\$ 480 millones de dólares FOB<sup>1</sup>, y la inversión extranjera directa en minas y canteras está por los U\$ 10.000 millones de dólares. Los tipos de minas auríferas en nuestro país son las de tipo placer y tipo filoniano (veta), distribuidos en un 75% en promedio de producción para los del primer tipo y el restante 25% para los del último.

En el Municipio de Cajamarca, Departamento del Tolima, se realizó un hallazgo por parte de la firma AngloGold Ashanti, el cual según proyecciones cuando entre en el máximo de producción se alcanzarán a extraer en promedio 800.000 onzas de oro anuales<sup>2</sup>, siendo este el descubrimiento más grande de oro de la década en toda Latinoamérica.

La exploración y el aprovechamiento aurífero a este nivel es nuevo en el Tolima y la gran preocupación es el impacto que esta puede ocasionar sobre los recursos naturales existentes en el municipio de Cajamarca, por ello se hace necesario y oportuno la introducción de nuevas tecnologías y de un Plan de Manejo Ambiental que mermen sustancialmente el impacto sobre la región para evitar problemas de salud y ambientales en la zona.

La experiencia de los aprovechamientos mineros y las técnicas empleadas son bastante negativas para el medio ambiente, por ello se hace necesario identificarlos plenamente y cuantificar su impacto, es entonces cuando los sensores remotos juegan un papel importante en la delimitación de los impactos originados por el aprovechamiento.

La presente investigación expone las bondades de la utilización de los sensores remotos en cuanto a la observación de los impactos ocasionados en el suelo, los drenajes y la delimitación de las emisiones, es por ello que mediante la utilización

---

<sup>1</sup> Banco de la República "Informe Minero 2012". <http://www.banrep.gov.co>

<sup>2</sup> Planeación Cajamarca 2012. <http://cajamarca-tolima.gov.co/index.shtml>

de la Geomática en la explotación de la Mina La Colosa en el Municipio de Cajamarca departamento del Tolima, se creó un escenario con esta información que reflejó multi-temporalmente el estado y grado de intervención del área objeto de estudio.

Los hallazgos más importantes alcanzados en la presente investigación hacen referencia a la necesidad de la utilización de los sensores remotos y de sus productos, tales como las imágenes de satélite y fotografías aéreas, los cuales combinados permiten hacer inferencias en el área de investigación de tal forma que arroje resultados preliminares susceptibles de verificaciones en campo poco dispendiosas, derivando en mejores resultados.

Lo mapas logrados a partir de la utilización de herramientas tecnológicas tales como el de conflicto de uso permiten inferir en primera instancia las futuras afectaciones, ello permite manifestar la preocupación en cuanto al deterioro ambiental, aun sin iniciar las labores de explotación la compañía minera.

La realización de un escenario tendencial de explotación de la Mina La Colosa a partir de los modelos digitales de elevación, permiten ineludiblemente presentar de manera clara y concreta la pérdida de suelo y de subsuelo en primera instancia, consecuentemente la afectación de acuíferos, este tipo de representaciones se basan sobre información cartográfica real, amarradas a Magna, a su vez este tipo de información tiene la facilidad para modelar de manera tendencial, de tal forma que haciendo inserción de variables de los impactos, se generaron modelos predictivos, los cuales sirven de soporte para adelantar los estudios de impacto ambiental.

En términos de tiempo y acceso al área objeto de estudio presenta importantes avances dado que el mayor trabajo se adelanta en oficina y se limita a efectuar visitas de campo para corroborar la información.

La limitante principal en la realización de este tipo de estudios a partir de sensores remotos, es el costo asociado al mismo, por cuanto son tecnologías recientes, de última generación, en segunda instancia exige de personal altamente calificado para lo cual el país tiene déficit de profesionales en este ámbito, subsecuentemente hace que la realización de este tipo de trabajos comprometa de lleno a la empresa privada.

# CAPITULO 1

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El principal problema del aprovechamiento minero es la contaminación ambiental, la cual produce un agotamiento rápido y paulatino de los recursos naturales; en la actualidad la multinacional AngloGold Ashanti se encuentra realizando la fase de exploración para determinar la cantidad de oro existente en la región y la forma en que este se encuentra distribuido; al parecer según los estudios preliminares se puede llegar a extraer 800.000 onzas de oro anuales en la etapa cumbre del aprovechamiento, lo equivalente a 800 kilos de oro, las cuales se deben extraer bajo el método de cielo abierto, el cual es muy poco conveniente con el medio ambiente debido a que se hace necesario destruir la capa vegetal con el fin de exponer el suelo y poder así instalar las cargas explosivas que al ser activadas harán que este se descompacte para que la maquinaria especializada proceda a remover las rocas y poder así roscarlas con químicos altamente contaminantes que se encargaran de separar de esta, el oro que se encuentra depositado en ellas en pequeñas partículas.

El proyecto minero de la Colosa se ubica en el municipio de Cajamarca-Tolima muy cerca de la cabecera municipal en las veredas La Luisa, El Diamante, La Bolívar y La Paloma extendiéndose sobre estas en aproximadamente un área de 515,75 has, el promedio de habitantes de la zona en la actualidad ronda los 529 habitantes (Rivillas, 2011).

El proyecto minero tendrá una zona de influencia concreta que se solaparía con la cuenca hidrográfica mayor del río Coello, por lo cual se esperaría que los Municipios más vulnerables frente a accidentes o impactos ambientales en general fueran Ibagué, Cajamarca, Rovira, San Luis, Espinal, Coello y Flandes, y específicamente las 169 veredas vinculadas a la cuenca del Coello, y las demás que pudieran ser irrigadas por el distrito de riego de USOCOELLO, pero que no hacen parte de la cuenca, y a las que se le agregarían algunas veredas de Guamo, en este sentido, se trataría de 495.696 habitantes directa o indirectamente afectados de distintos modos, distribuidos en 8 Municipios, los cuales suman una

extensión de 4.197,8 km<sup>2</sup>, y representan el 17,5% del territorio departamental (Rivillas, 2011)

Por ello se hace necesario mostrar a partir de fotografías aéreas e imágenes espectrales una proyección del posible impacto futuro que ocasionaría el aprovechamiento del oro en la Mina la Colosa, sobre los recursos hídricos, de suelo y capa vegetal de la región de Cajamarca.

### **1.1. Justificación**

En el año 2007 la compañía minera AngloGold Ashanti descubrió en las cercanías del casco urbano (14 km) del municipio de Cajamarca departamento del Tolima y a 30 km de Ibagué el sitio denominado como La Colosa, en el cual según las prospecciones realizadas por la AGA se encuentran cerca de 24 millones de onzas Troy de oro el cual es el estimativo actual siendo este uno de los descubrimientos más grandes de oro en Latinoamérica de los últimos 10 años, a finales de 2015 se espera finalice la etapa de exploración para la cual se proyectó una inversión de aproximadamente U\$ 275 millones, para luego proceder con la fase de exploración la cual según cálculos de la misma compañía tendría una duración de aproximadamente 15 años.

Cajamarca es un municipio que cuenta con un aproximado en la actualidad de 19.000 habitantes de los cuales según la AGA se han visto favorecidos en la etapa de exploración ya que se les ha dado trabajo a 560 familias además de haber realizado inversiones en los social por valor de \$ 2.700 millones de pesos y en los ambiental por un valor cercano a los \$7.200 millones de pesos, generando entre 700 y 800 empleos indirectos y lo anterior multiplicado por cuatro como empleos indirectos, finalmente se estima que la AGA deje en impuestos, regalías y demás aproximadamente U\$ 400 millones de dólares en los próximos 20 años.

Lo anterior son los posibles beneficios que deje la AGA y la explotación de la Colosa en nuestro país pero la otra cara de la moneda es si estos recursos que el país obtendrá en el posible aprovechamiento del oro de la región se sobrepesaran con el impacto ambiental en los suelos, capa vegetal y recursos hídricos que generara la explotación además del impacto que tendrá sobre la comunidad como desplazamientos, aumento de la densidad poblacional, delincuencia y enfermedades, el proyecto de la Colosa si entra en funcionamiento tendrá una zona de influencia concreta que se solaparía con la cuenca hidrográfica mayor del río Coello, por lo cual se esperaría que los Municipios más vulnerables frente a accidentes o impactos ambientales en general fueran Ibagué, Cajamarca, Rovira,



San Luis, Espinal, Coello y Flandes, y específicamente las 169 veredas vinculadas a la cuenca del Coello, y las demás que pudieran ser irrigadas por el distrito de riego de USOCOELLO, pero que no hacen parte de la cuenca, y a las que se le agregarían algunas veredas de Guamo, en este sentido, se trataría de 495.696 habitantes directa o indirectamente afectados de distintos modos, distribuidos en 8 Municipios, los cuales suman una extensión de 4.197,8 km<sup>2</sup>, y representan el 17,5% del territorio departamental (Rivillas, 2011) según las proyecciones cartográficas resultado de la presente investigación, de otra parte se espera que el estado revalúe la política ambiental actual y con la expedición del nuevo código de minas se controle verdaderamente el manejo que se le está dando a la explotación de recursos naturales en nuestro país ya que la regulación existente es muy lapsa con la compañías multinacionales y débil en el cuidado de los recursos naturales razón por la cual en las recomendaciones que se realizan al final de la investigación se sugiere entre otras y a consideración nuestra como las más relevantes no sin antes decir que esto no es óbice para considerar la demás como menos importantes la reforma del Decreto 2380 de 2010 en lo atinente a restablecer la necesidad de solicitar licencia ambiental para la fase de exploración ya que en la actualidad no es necesaria, también para la expedición del nuevo código se sugiere mantener la disposición del Art. 3 inc. 5 de la Ley 1382 de 2010 en cuanto a la necesidad de solicitar sustracción de reserva antes de la fase de exploración, promover la eliminación inmediata de sustancias nocivas (mercurio, plomo, arsénico, cadmio etc.) en las explotaciones mineras mediante proyectos de Ley, la creación de áreas excluibles de exploración y explotación minera (fortalecimiento de la lista ya existente Art. 34 del Código de Minas), adopción de la totalidad de instrumentos de ordenamiento y planificación ambiental del territorio nacional, delimitación de Paramos, reordenamiento y zonificación de las reservas forestales.

Finalmente el resultado de esta investigación será presentado a la Contraloría General de la Republica (CGR), Contraloría Delegada del Medio Ambiente y se solicitara sea realizada una auditoria especial en la zona para que complemente y evalúe el posible impacto de la explotación minera ya que puede esto convertirse en un detrimento patrimonial ambiental sobre los recursos naturales de la nación en un futuro muy cercano y el posible daño seria irrecuperable.

## **1.2. Objetivo general**

Proyectar el posible impacto en los recursos hídricos, suelo y capa vegetal que se generaría a partir de la explotación de la Mina La Colosa en el municipio de Cajamarca departamento del Tolima, mediante la utilización de la Geomática.

### 1.2.1 Objetivos específicos

- Elaborar el modelo de elevación digital de la zona en la cual se está desarrollando la exploración minera en el municipio de Cajamarca-Tolima.
- Elaborar mapas de uso actual, potencial, de conflicto de usos del suelo e hídrico en el área objeto de estudio.
- Elaborar mapas multitemporales generando proyecciones del posible impacto en cuanto a destrucción de la capa vegetal, hídrico y de suelos provocados por la explotación del oro en el municipio de Cajamarca-Tolima.
- Determinar la cantidad de población afectada, municipios y veredas directa e indirectamente a causa de la posible explotación aurífera del sitio conocido como la Colosa en el departamento del Tolima.
- Realizar recomendaciones de tipo social, ambiental y legal sobre los resultados obtenidos en las proyecciones cartográficas elaboradas.

### 1.3. Marco teórico

Las imágenes de satélite y las fotografías aéreas presentan la firma espectral o respuesta de los objetos en presencia de la radiación, lo cual facilita de manera enorme el trabajo de identificación, permitiendo efectuar clasificaciones supervisadas o no supervisadas dependiendo de la necesidad del usuario. es conocido que el ojo humano puede ver en un rango de 04 a 07 de energía electromagnética, sin embargo mediante métodos específicos es posible observar aquello que el ojo humano por su condición no puede, para ello la teledetección se vale de las bandas del espectro denominado invisible, esto significa que podemos observar condiciones específicas de los elementos, a modo de ejemplo podemos ver una planta, y dar características físicas generales del mismo sin embargo con la ayuda de este tipo de imágenes se nos permite cuantificar el estado de maduración, los niveles de clorofila, las enfermedades que pudiese tener, entre otros aspectos.

Los trabajos efectuados utilizando los sensores remotos para identificación y cuantificación de los impactos a nivel minero en el mundo tienen una tradición muy reciente, normalmente están enfocados a la identificación de las áreas afectadas, esto por la respuesta espectral de los distintos elementos que se encuentran y su correspondiente masificación, los inconvenientes que se presentan obedecen a que

el nivel de escala cartográfica en la que se quiere observar los impactos, es de carácter restringido para usuarios privados, no existen los productos en el área objeto de estudio o por los altos costos de dichas imágenes, sin embargo el avance en los sistemas de teledetección y la combinación de técnicas de observación en estos últimos años, ha hecho que exista la posibilidad de contar con información más detallada y relativamente económica, la cual permitió efectuar análisis más detallados de los impactos ambientales en esta industria extractiva, complementado así las visitas de campo que se efectuaron al sitio objeto de estudio.

#### 1.4. Estado del arte

La teledetección o percepción remota es una técnica que permite a los usuarios obtener imágenes terrestres remotamente mediante el uso de sensores que se encuentran ubicados en satélites, submarinos o aviones, luego estas imágenes son procesadas en software especializado para interpretarlas y obtener datos e información sobre las características del terreno y sus diversos cambios, en síntesis se puede decir que esta información es:

- Global, abarcando grandes áreas con buena resolución espacial
- Objetiva, pues se recoge mediante sensores calibrados
- Periódica, pues se recoge incluso varias veces al día
- Digital, por tanto, susceptible de tratamiento informático<sup>3</sup>

Según Chuvieco (2008)<sup>4</sup>, un sistema de teledetección espacial se compone de los siguientes elementos:

- Fuente de energía, que supone el origen de la radiación electro-magnética que detecta el sensor.
- Cubierta terrestre.
- Sistema sensor (sensor-plataforma).
- Sistema de percepción-comercialización.

---

<sup>3</sup> <http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/web/dependencia/?itpad=0&niv=0&itact=1425&ti=false&dep=33>

<sup>4</sup> Chuvieco, E. 2008. Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid. España Pág. 60.

- Intérprete, que convierte los datos en información de interés.
- Usuario final.

El surgimiento de los sensores remotos tiene su nacimiento gracias a la fotogrametría la cual tuvo un amplio auge en la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) la cual permitía obtener información de diversos terrenos de manera remota.

Con el surgimiento de los satélites, y la posibilidad de tomar “fotos” en distintas regiones del espectro electromagnético (visible, infrarrojo, microondas), el prefijo “foto” que remite a la parte visible del espectro- se volvió obsoleto para los métodos que se estaban comenzando a utilizar e investigar. Además, la palabra “aérea” refiriéndose al tipo de fotogrametría antes usada, era reemplazada por los incipientes satélites. También el instrumental había comenzado a cambiar, no sólo se usaban cámaras fotográficas, sino también escáneres, radiómetros, etc. Para referirse a la tecnología que estaba naciendo los empleados de la sección de Geografía de la Oficina de Estudios Navales (ONR - Office of Naval Research) acuñaron el término “sensoramiento remoto” en la década de 1960.<sup>5</sup>

#### **1.4.1. Aplicaciones de los sensores remotos**

Entre las diferentes aplicaciones podemos definir las siguientes como las más importantes<sup>6</sup>:

- Estudios medioambientales.
- Análisis de impacto de ambiental.
- Estudio de depósitos minerales y petrolíferos, dinámica de la estructura terrestre y actividad volcánica.
- Estudio de la contaminación de las aguas y material de arrastre, análisis de los cursos de agua y peligros de inundaciones, localización de fuentes de agua potable, detección y seguimiento de hielos y témpanos, cartografía térmica del mar

---

<sup>5</sup> [http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/index.php/Sensores\\_Remotos](http://fcaglp.unlp.edu.ar/referenciacion/index.php/Sensores_Remotos)

<sup>6</sup> [http://www.efn.uncor.edu/otros/foto/s\\_remotos.htm](http://www.efn.uncor.edu/otros/foto/s_remotos.htm)

- Estudio y cartografía de la vegetación: producción y distribución de las especies agrícolas y forestales, estudio del suelo fértil, detección de plagas e insectos que afectan la producción agrícola, análisis de zonas con sequías.
- Cartografía de áreas afectadas por incendios forestales
- Geografía y Cartografía de base: actualización de catastro rural y urbano a escalas posibles, utilización de las tierras, distribución de la población y sus cambios
- Aplicaciones militares: detección de la capacidad militar de las naciones incluido el espacio exterior, reconocimiento fotográfico y electrónico, detección de ICBM, guerra electrónica.
- Estudios estratégicos desde el punto de vista geopolítico: toma de decisiones en base a información y datos como entidades georeferenciadas.
- Construcción de modelos digitales del terreno en áreas inaccesibles: los DEM como ayuda a la navegación aérea, elección de rutas y caminos en zonas de difícil acceso o selváticas.

#### **1.4.2. Aplicaciones de los sensores remotos en el estudio de impactos mineros caso Colombia.**

El auge de los sensores remotos no ha sido fortuito, este se debe a la gran utilidad que le han brindado a las diversas ciencias su constante utilización y a la nueva gama de conocimientos que se han generado debido a su masiva aplicación la cual hay en día se utiliza en casi todos los sectores investigativos a nivel mundial.

Entre las diversas aplicaciones que se encuentran en cuanto a los impactos ambientales en el ámbito minero se destacan los monitoreos de deforestación, monitoreos y mapeos de aguas contaminadas, rastreo y derrame de químicos, monitoreos de polución, medición de sedimentos en turbidez etc., a nivel mundial la utilización de los sensores remotos para proyectar y medir daños ocasionados por la explotación minera han sido pocos y nuestro país no es la excepción en la materia, pero podríamos mencionar algunos como son los trabajos de Ortiz, 2004, sobre la prospección del níquel en el área de Cerro Matoso Córdoba el cual logró establecer un modelo de repercusiones debido a la explotación en la región; Mejía y Durango, 1982, realizan un estudio geológico en las lateritas Niquelíferas de

Cerro Matoso S.A., Álvarez y Muñoz, 1987, hacen un estudio sobre las lateritas Dunitas Niquelíferas en Medellín. Se encuentra también el importante trabajo realizado por Vargas, 2006, mediante la aplicación de sensores remotos llamado “Evaluación de Áreas Potenciales de Níquel, en Colombia, para la Determinación de Prospectos a partir de Sensores Remotos”, de Vargas y Rodríguez, 2009, “Metodología para la Prospección de Níquel Utilizando Técnicas de Sensores Remotos”.

En la actualidad la Comisión Colombiana del Espacio (CCE) y el Instituto Agustín Codazzi pioneros en el tema en nuestro país están llevando a cabo diversos estudios técnicos y científicos en el uso de sensores remotos, además de brindar cursos para el manejo y entendimiento de Sistemas de Información Geográfico (SIG), Fotogrametría, Cartografía y Teledetección con la finalidad de fomentar el uso y conocimiento de estas tecnologías en nuestro país.

## **CAPITULO 2**

### **2. ABORDAJE METODOLOGICO**

#### **2.1. Tipo de investigación**

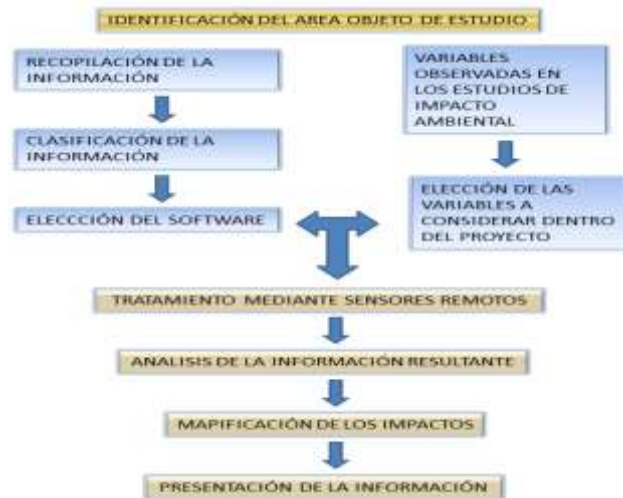
El tipo de investigación en el cual se enmarcó el presente trabajo es descriptivo ya que se buscó especificar las propiedades del área de estudio en cuanto a los recursos de suelos, e hídricos de zona en la cual se llevará a cabo la explotación del oro en Cajamarca-Tolima y donde actualmente se adelantan los trabajos de exploración por parte de la compañía minera Anglo Gold, para luego realizar las proyecciones cartográficas del posible impacto generado durante la extracción del mineral. De otra parte el método en el que nos basamos es analítico ya que se realizó una descomposición del objeto del estudio en los componentes antes mencionados para lograr obtener un estado actual del área de estudio realizando un análisis multifacético de las diversas capas en el terreno, la descomposición del todo en sus partes nos permitió descubrir de manera detallada la composición del área a tratar y de las relaciones existentes entre las mismas.

#### **2.2. Trabajo de campo-Determinación de vértices GPS**

El presente capítulo está diseñado para informar la metodología con la cual se determinaron los vértices GPS del área de estudio para realizar el levantamiento topográfico de alta precisión de la zona de estudio, este capítulo comprende el trabajo de campo realizado en Cajamarca-Tolima, el cual tuvo una duración de aproximadamente 8 días.

### 2.3. Esquema metodológico

Figura 2-1: Identificación del área objeto de estudio.



Fuente: Autores 2012.

### 2.4. Materiales y métodos

Dentro del proyecto fue necesaria la georeferenciación en MAGNA de las imágenes a utilizar dado que tuvimos una posición geográfica de la Mina la Colosa, para ello se contamos con navegador inicialmente y luego con GPS de doble frecuencia Sokkia.

Para el análisis efectuado y al realizar el estudio contenido en el presente trabajo, se observaron diferentes tipos de sensor, de software de procesamiento de la información, así como de las condiciones del área donde se aplicaría este tipo de metodología dando como resultado inicial elementos importantes para el desarrollo del mismo:

Se eligieron las variables a identificar y mapear, las cuales son el suelo, los drenajes y de manera general las emisiones.

Luego se observó la imagen Landsat del tipo Thematic Mapper ISG00-L7ETM+-0016210, que posee 8 bandas para la obtención de información, requirió ser georeferenciada, el nivel de resolución espacial de 30 x 30 metros, por tal razón se utilizó para delimitar el área de estudio, ubicación de los puntos de gps, se hizo una clasificación no supervisada de la vegetación y drenajes, es de aclarar que existen otro tipo de imágenes sobre el área sin embargo el tipo de escala solo permite aproximarse a un estudio general, para lo anterior se utilizó el software Erdas Image versión 9.3.



Dentro de los productos para efectuar un análisis detallado se encontró la pertinencia de tener en cuenta fotografías aéreas pancromáticas C – 2407, dicho producto tiene una resolución de 15 micrones y una escala de 1:32.500, se georreferenciaron, estas nos permitieron hacer una clasificación supervisada, y se realizaron los Modelos digitales de elevación pertinentes mediante el software Arc-Gis,

Luego, se obtuvieron los mapas de uso actual, potencial, de conflicto, de los impactos previamente definidos.

## **2.5. Informe y descripción del procedimiento.**

Con el objeto de obtener las coordenadas del área objeto de estudio se tuvieron en cuenta los desarrollos metodológicos que tiene para este aspecto el IGAC, el área se encuentra ubicada en la zona Norte del departamento del Tolima, dentro del municipio de Cajamarca, para lo cual se observaron los siguientes ítems:

1. Visita al área objeto del trabajo.
2. Coordenadas aproximadas.
3. Los obstáculos y el posterior proceso de la información obtenida mediante GPS.
4. El Datum.
5. Vértice geodésico para soportar el posicionamiento en campo.
6. Receptor y antena utilizados.
7. Efemérides.
8. Toma de información.
9. Procesamiento de la información tomada en campo.
10. Observaciones.
11. Gráfico de Campo.
12. Coordenadas.

### **2.5.1. Visita al área objeto del trabajo.**

En este ítem se observó las condiciones del sector donde se encuentra la Mina La Colosa para así determinar las condiciones tanto topográficas, medioambientales,

de posibles interferencias de la señal de GPS y de carácter de seguridad se daban en este sitio, determinando el tiempo de trabajo en campo con los equipos requeridos para este tipo de actividad.

Se pudieron establecer los vértices sobre los cuales se hizo el seguimiento, como conclusión se tuvieron en cuenta el del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el de la empresa Franco N Hnos. Ltda, decidiéndose que el mejor para la actividad es el denominado GSR 2700 RS, el cual hace parte de esta compañía y cuenta con certificación. Los puntos rastreados desde Cajamarca fueron el 1, 2, y 3 utilizando receptor con características de doble frecuencia.

## **2.6. Coordenadas aproximadas.**

Tomando como base la cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se determinó que los posicionamientos a efectuarse deberían tener como mínimo 60 minutos para los vértices, con la característica de utilización de GPS de una frecuencia y de doble frecuencia según el caso para la determinación de los puntos específicos.

En el trabajo de campo para efectos de un posicionamiento inicial se utilizó el navegador 60csx de fabricación Garmin que permitió dar un bosquejo inicial y de comparación con las coordenadas dadas en las fotos aéreas que sirven de apoyo al trabajo. Su toma corresponde al formato de grados, minutos y segundos. Para luego convertirlas a Nortes y Estes, valiéndose para ello de la proyección transversa de Mercator.

## **2.7. Los obstáculos y el posterior proceso de la información obtenida mediante GPS.**

Habiéndose observado las áreas susceptibles para la toma de la información, como lo son arboles altos y líneas de transmisión eléctrica se tomó posición en aquellos sitios que no presentaban dichas afectaciones, se tomó la decisión de contar con una máscara que filtrara las señales de los satélites dado que por efecto de rebote en principio “refracción entre otros” podía duplicarse la información y provocar errores, por lo cual se decidió que una elevación de 15° y así evitar errores sistemáticos “ errores intrínsecos de los aparatos utilizados” lo cual derivaba en prestar una mayor atención a los errores casuales “errores humanos en la utilización de dichos equipos”.

En general encontramos que la vegetación presente era el mayor obstáculo para las observaciones en campo mediante la utilización de GPS.

## **2.8. El Datum.**

Debido a los constantes cambios que se han suscitado en los últimos años en cuanto al posicionamiento se refiere, se optó por utilizar el Marco Geocéntrico Nacional MAGNA, utilizando el Datum para Colombia, valiéndose para ello de la geometría “ efemérides que utilizan los GPS internamente” entre ellos X,Y,Z, y el tiempo, es de recordar que la Tierra está en constante movimiento e implica necesariamente el desplazamiento de las placas tectónicas, por ello es indispensable el control constante de los puntos que se toman en campo, esto nos permite definir entonces:

Sistema de Referencia para el trabajo cartográfico: MAGNA - SIRGAS

Elipsoide: GRS80

Precisión interna: 4 mm a 8 mm, 30cm – 3 metros.

Exactitud SIRGAS: XY = 2 cm, h = 6 cm XY = Aprox 360 m.

### Coordenadas

Datum: Lat: 4° 34' 36.218” Lat: 4° 34' 41.38”.

Long: 74° 05' 54.0234” Long: 74° 05' 41.0134”.

h: 2641.469m.

Errores: En Escala.

En Tectónica.

Sistemáticos.

### **2.8.1. Vértice geodésico para soportar el posicionamiento en campo.**

Se tuvo en cuenta el vértice GSR 2700 RS para lo cual se contó con los siguientes datos obtenidos:

Latitud: 04° 36' 41.4532” N

Longitud: 74° 05' 19.3426” W

Altura elipsoidal: 2618.521 m

Geodésicas 63CE1 NP

Latitud: 05° 16' 02.16584” N

Longitud: 73° 50' 26.91300” W

Altura elipsoidal: 2592.131 m

Altura (snm): 2568.698 m

Ondulación Geoidal: 23.053 m

## 2.9. Receptor y antena utilizados.

Los receptores utilizados verificando las condiciones del área y disponibilidad de equipo son los **STRATUS** y **RADIAN IS** de la casa **Sokkia** que permiten mayor precisión.

## 2.10. Efemérides.

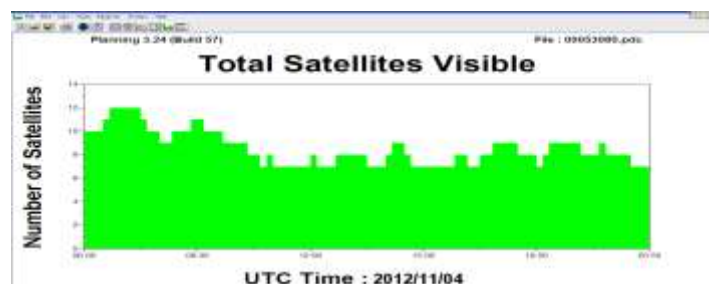
Las mediciones contaron por lo menos con una hora para su observación, lo cual permitió que el foto control que se efectuó a las imágenes utilizadas fue de mayor confiabilidad.

## 2.11. Toma de información.

Todas las tomas a lo largo del trabajo se iniciaron a horas de la mañana, cada registro con equipo de doble frecuencia contó con un tiempo de por lo menos 3 horas, lo anterior en una misma jornada de trabajo.

La Figura 2-2 permite apreciar la cantidad de satélites disponibles para la fecha del posicionamiento del vértice de apoyo localizado en Cajamarca desde las 6 a.m. hasta las 9 p.m. de igual manera en la segunda grafica se puede determinar que el GDOP es menor a 4 durante todo el día, condición ideal para las mediciones GPS.

Figura 2-2: Total de satélites visibles.



Fuente: Autores 2012.



### 2.13.1. Coordenadas wgs 84 geográficas obtenidas del cálculo.

#### Procesadas geográficas:

- punto 1 P **4°25'18.84454**  
L - **75°32'6.48476**  
H 2571.964 m
  
- punto 2 P **4°25'26.28374**  
L - **75°32'26.98473**  
H 2566.531 m
  
- punto 3 P **4°25'25.38584**  
L - **75°32'45.97473**  
H 2806.034 m

#### Planas Gauss Origen Bogotá

id, Norte, Este, Altura

1,1016667.335,989937.019,2571.964

2,1015132.561,994170.856,2566.531

3,1014938.29,1011320.235,2806.034

A continuación se presentan algunas fotos de los puntos de control elegidos.

Figura 2-4: Puntos de control 1, 2 y 3.



Fuente: Autores 2012.

## 2.15. Generación de Ortofotomosaico Cajamarca sector Mina la Colosa- Determinación de vuelos en la zona.

Para la realización del ortofotomosaico se procedió a realizar una investigación detallada del material fotográfico que se encontraba en los archivos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) allí se logró establecer que las líneas de vuelo más recientes existentes para la zona de estudio (Cajamarca, Tolima) correspondían al año 1989 (Figura 2-5), dichas fotografías fueron tomadas en el vuelo número C-2407, las cuales se encuentran a una escala de 1:29.100. De las fotografías tomadas en dicho vuelo se logró establecer que las fotos números 73-74 cubren la totalidad del área de estudio y que con ellas fue posible realizar la composición y configuración del bloque para llevar a cabo el ortofotomosaico y la proyección de la explotación minera a cielo abierto, a continuación en la tabla 2-1 se muestra una breve descripción del material encontrado en el IGAC y que fue la base para la realización de la presente investigación.

Tabla 2-1: Relación fotos proyecto Mina la Colosa.

Relación de fotos área objeto de estudio - Mina la Colosa				
Vuelo	Sobre	Fotos	Escala	Total fotos
C-2407	S35500	73-74	1:29.100	2

Fuente: Autores 2012.

Figura 2-5: Líneas de Vuelo.



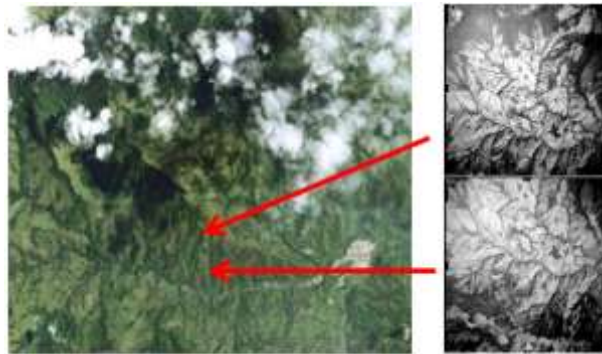
Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

## 2.16. Escaneo fotogramétrico

Se realizó el escaneo fotogramétrico de las 2 fotografías suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a una resolución de 15 micrones, y se procedió con base en un mapa actual de la zona a realizar una localización relativa del bloque, para la realización de éste se tomó una imagen de Google Earth y se realizó el procedimiento el cual además de arrojar la ubicación relativa del bloque también muestra que la zona no ha sufrido cambios significativos desde la toma de las fotografías aéreas hasta la actualidad como se puede observar en la Figura 2-6.

Figura 2-6: Localización relativa del bloque, imagen de satélite tomada de Google Earth y composición de fotos.



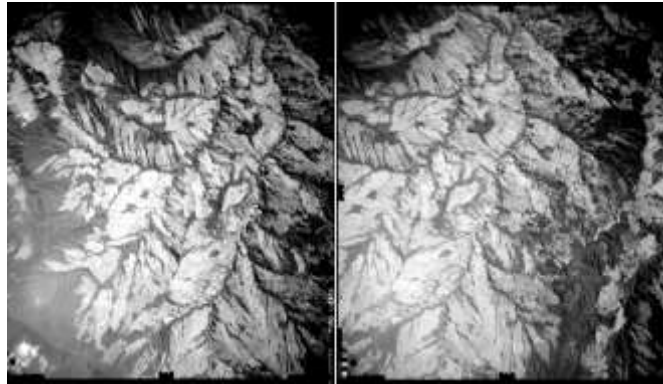
Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

## 2.17. Organización del material

Después de la entrega del material por parte del IGAC, se procedió a copiar los datos para la verificación de la información. Se organizaron las imágenes en un quicklook, que permitió verificar que las fotografías estaban completas y sin ningún defecto. Para manipular con mayor facilidad las imágenes para el quicklook, previamente se convirtieron a formato .tif de máxima comprensión, lo anterior fue realizado en el software de Erdas Imagine.



Figura 2-7: Quicklook Proyecto Mina la Colosa

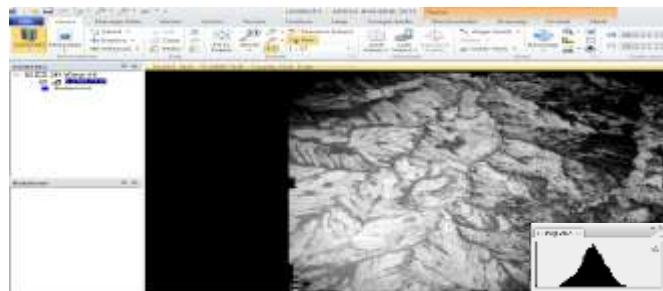


Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

## 2.18. Corrección radiométrica

Organizadas las imágenes en el quicklook se pudo apreciar que las fotografías necesitaban una primera corrección radiométrica con la finalidad de restaurar líneas y píxeles perdidos, se realizó la corrección del bandeo de la imagen y las correcciones atmosféricas del caso para que el trabajo digital (Correlación) resultará más eficiente obteniendo una imagen más nítida y precisa lo que nos llevó a cálculos más reales que si se trabajara la imagen sin la correspondiente corrección radiométrica. Este primer ajuste se realizó a cada una de las imágenes, haciendo un ajuste de curvas radiométricas para una mejor distribución el cual presentó un histograma aleatorio, y después de la realización de la corrección radiométrica realizada en el Software Arc-Gis nos muestra el histograma luego de su estandarización un comportamiento de distribución normal estándar Figura 2-8.

Figura 2-8: Imagen original proveniente del Escaneo anterior al ajuste de curvas radiométricas.

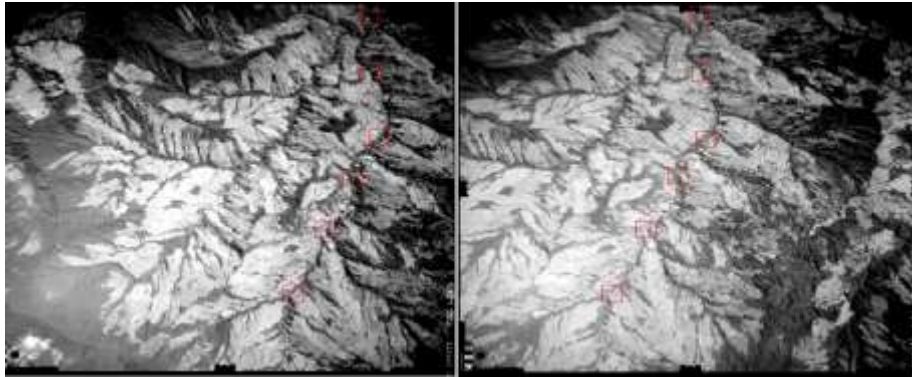


Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

## 2.19. Determinación de las zonas ideales para posicionamiento GPS

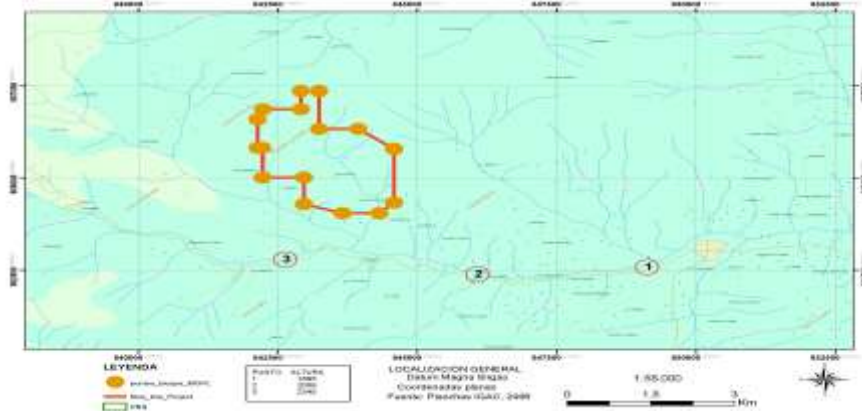
Con el quicklook, también se pudieron determinar las zonas ideales para posicionar los puntos de control de campo necesarios para el ajuste del bloque, mediante GPS. Teniendo en cuenta la configuración del bloque y para obtener un ajuste robusto, se determinó que era necesario hacer el posicionamiento de 3 puntos de foto control en zonas específicas, en un primer momento se determinaron los seis mejores puntos para después de realizar los cálculos respectivos en el Software mediante corrección geométrica se pudo determinar los tres mejores puntos para realizar el trabajo de campo respectivo como se observa en las figuras 2-9 y 2-10.

Figura 2-9: Distribución de foto control y escogencia de los mejores sitios de posicionamiento.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Figura 2-10: Puntos Escogidos de Foto-Control.

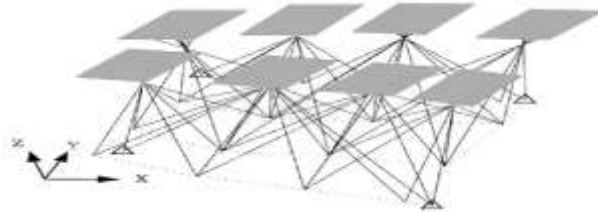


Elaboro: Autores 2012.

## 2.20. Aerotriangulación por haces de rayos

El procedimiento más flexible para la formación y ajuste de bloques y en general para la mayoría de las situaciones fotogramétricas, es a través del uso de los haces de rayos producidos por los fotogramas individuales.

Figura. 2-11: Aero-triangulación por haces de rayos



Fuente: <http://www.ign.es/ign/resources/acercaDe/aig/A2.pdf>

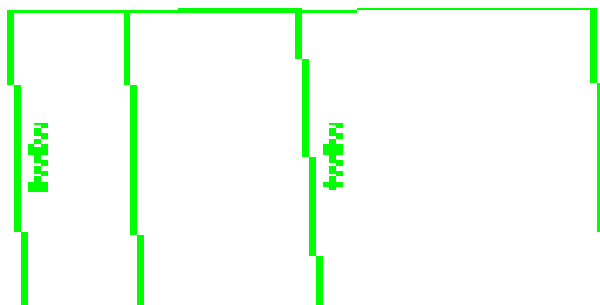
### 2.20.1. Configuración del bloque

Los parámetros iniciales que se tuvieron en cuenta para la configuración del bloque fueron la escala promedio de las fotografías y la calibración de la cámara. Para los parámetros de la cámara se tiene el certificado de calibración, donde aparecen los datos de distorsión de la lente, distancia focal, punto principal y las coordenadas de las marcas fiduciales.

Se subieron las imágenes por fajas o líneas de vuelo, determinando cuales fajas se trabajaran con cámara inversa. Estas son las que en sentido de avance su correspondiente numeración es descendente.

El bloque Mina la Colosa está conformado por 2 fotografías distribuidas en una faja de la siguiente forma:

Figura. 2-12: Orientación interior, Faja 1: C2407-73 a C2407\_74.



Elaboro: Autores 2012.

### 2.20.2. Orientación Interior

En esta fase del proyecto se reconstruyen las condiciones de la cámara para cada fotografía con los parámetros de calibración de la misma, haciendo coincidir las marcas fiduciales de la cámara con las marcas fiduciales en la imagen.

Figura. 2-13: Orientación interior.



Elaboro: Autores 2012.

### 2.20.3. Orientación Relativa

En esta fase se colocaron las fotografías en la misma posición que ocupaban entre ellas en el momento de las tomas; esto se hizo mediante la colocación de puntos homólogos.

Figura 2-14: Orientación Relativa.

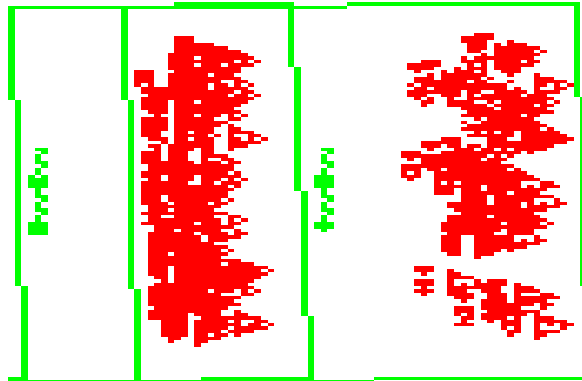


Elaboro: Autores 2012.

#### 2.20.4. Multimedición

En esta fase del proyecto, se colocaron puntos suficientes en las zonas estándar de todas las fotografías para garantizar el amarre y distribución adecuada de los puntos para el ajuste por haces de rayos.

Figura 2-15: Distribución de tie points.

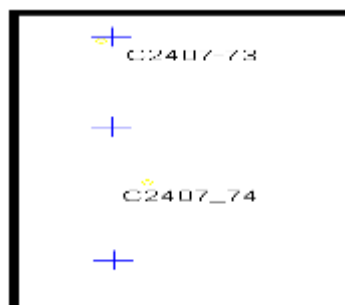


Elaboro: Autores 2012.

#### 2.20.5. Colocación del Fotocontrol

El bloque se ajustó con 3 puntos de foto-control los cuales quedaron distribuidos como se observa en el siguiente gráfico.

Figura 2-16: Distribución del foto-control.



Elaboro: Autores 2012.

## 2.20.6. Resultados de la Aerotriangulación

<b>Altura Absoluta Vuelo:</b>	<i>5258,694 m</i>
<b>Altura Media Terreno:</b>	<i>2300,100 m</i>
<b>Altura Media de Vuelo:</b>	<i>3579,067 m</i>
<b>Escala Promedio Fotos:</b>	<i>1:29.100</i>
<b>Total Tie Points:</b>	<i>90</i>
<b>Desviación estándar (Sigma naught):</b>	<i>9.1 micrones</i>
<b>Número de Observaciones:</b>	<i>27</i>
<b>Número de Desconocidos:</b>	<i>45</i>
<b>Redundancia:</b>	<i>72</i>

**117 Mediciones en 2 fotografías aéreas y 1 faja (Strips).**

### Error medio para puntos de fotocontrol

obs x = 34 rms	x = 6.03 rms	x = 0.234	chv vx = 0.70
obs y = 34 rms	y = 5.39 rms	y = 0.209	chv vy = 0.63
obs z = 34 rms	z = 1.97 rms	z = 0.077	chv vz = 0.23

### Puntos de Control Horizontal

point-no.	x	y	input -> used	rx	ry
888001	845598.019	983567.335	HV 2	0.026	-0.255
888002	843632.856	983575.561	HV 1	-0.121	0.080
888003	841535.123	983598.035	HV 2	-0.126	0.087

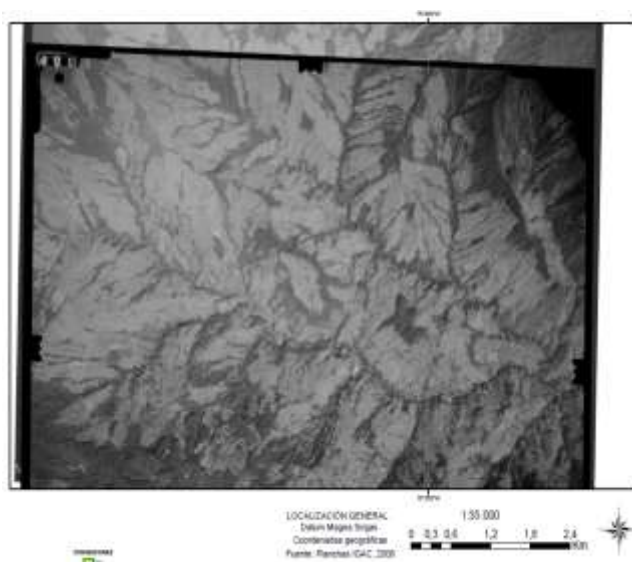
### Puntos de Control Vertical

point-no.	z	input -> used	rz
888001	2571.964	HV 2	0.077
888002	2569.181	HV 1	-0.056
888003	2583.806	HV 2	-0.095

## 2.21. Generación de ortofoto y mosaico.

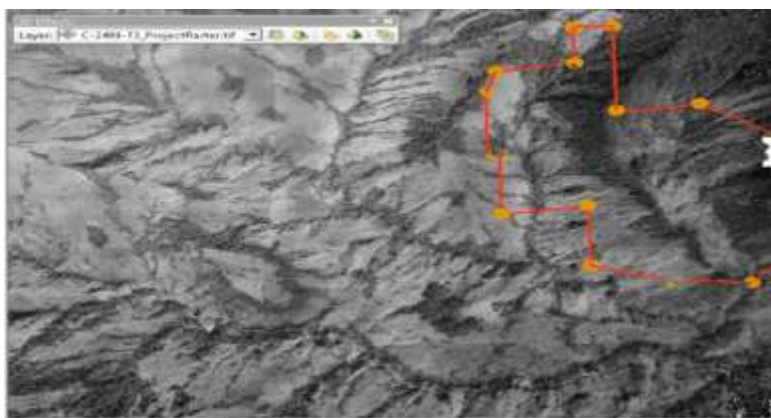
Se orto-rectificaron cada una de las fotografías del bloque y posterior a ello se realizaron los ajustes radiométricos para la generación del mosaico. Tamaño del mosaico 15Gb resolución 40 cm de pixel.

Figura 2-17: Nivel 0 de ajuste radiométrico.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Figura 2-18: Nivel 1 de ajuste radiométrico.

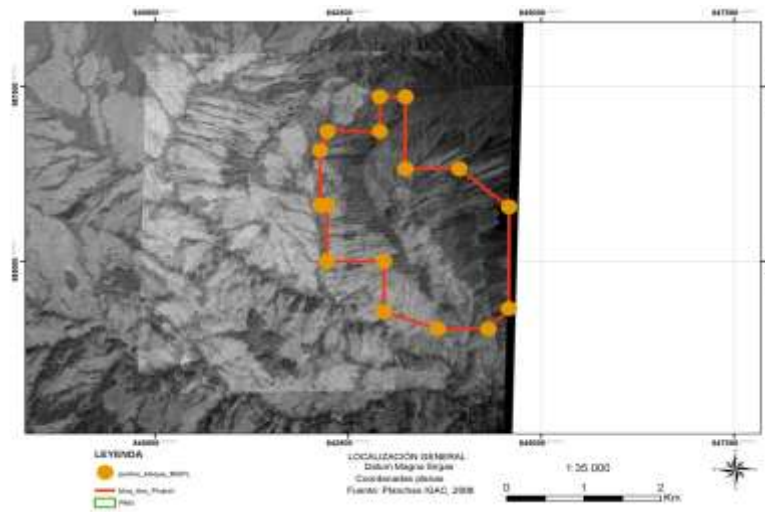


Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.



Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

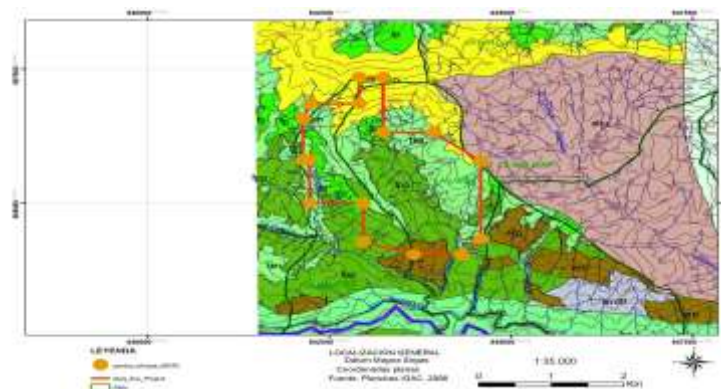
Figura 2-19: Corrección definitiva.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Una vez terminado el proceso se obtuvo como resultado el diagrama de bloques el cual nos dio la ubicación exacta del área en la cual se realizaría la explotación minera correspondiente a 517 hectáreas o 5.170 km<sup>2</sup>, además de darnos la ubicación nos permitió realizar la cartografía necesaria para cumplir los objetivos propuestos en la presente investigación, así como el correspondiente modelo de elevación digital en 3d, la proyección del área deforestada y el impacto gráfico sobre la zona de estudio.

Figura 2-20: Localización general de la mina en el POMCA.



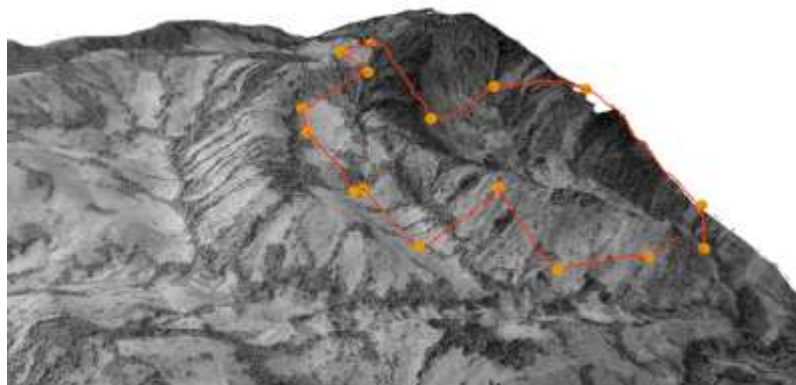
Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.



Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

Luego de haber obtenido el diagrama de bloque y superponerlo con una exactitud aproximada del 95% para una escala semidetallada como la que utilizó para realizar la presente investigación sobre el POMCA, se logró observar con claridad el area real de impacto y las zonas específicas que se verán afectadas por el aprovechamiento del oro en la zona, como se puede apreciar en las Figuras: 2-21 y 2-22.

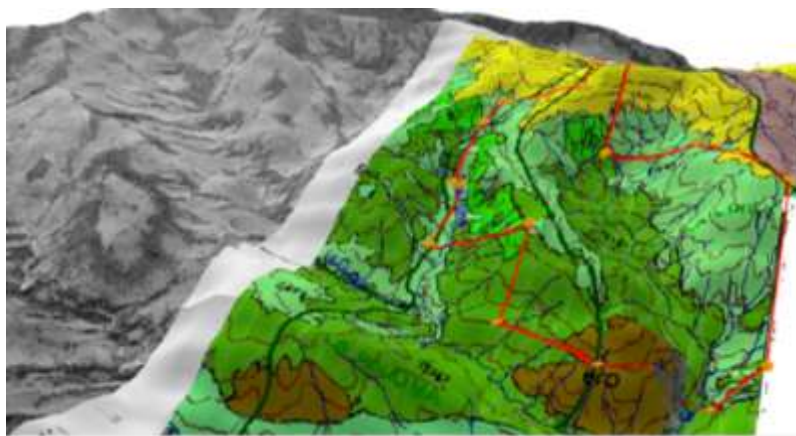
Figura 2-21: Modelo de elevación digital.



Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Figura 2-22: Modelo de elevación digital POMCA.



Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Una vez culminado el diagrama de bloques y el modelo de elevación digital se procedió a la realización de la cartografía propuesta con sus respectivas proyecciones.

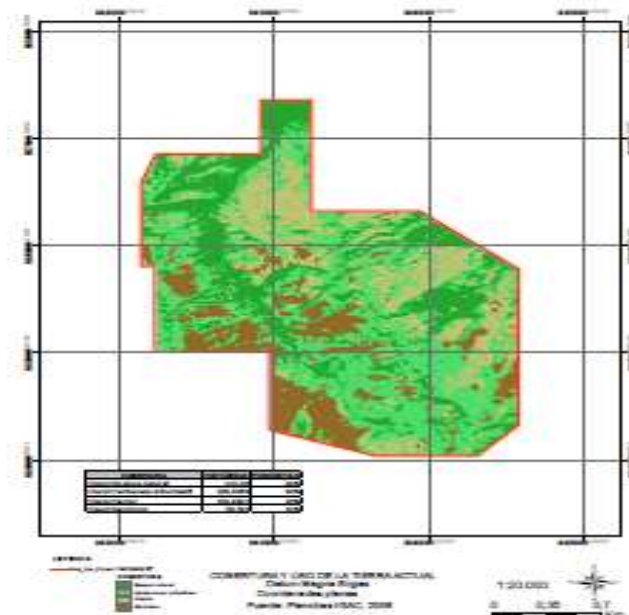
## CAPITULO 3

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1. Mapas de uso actual, potencial, de conflicto de usos del suelo e hídrico en Cajamarca-Tolima.

##### 3.1.1. Mapa de uso actual.

Figura 3-1: Mapa de uso actual.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

El mapa de usos y coberturas del suelo nos muestra que de las 517 hectáreas a intervenir en primera instancia 121,3 hectáreas corresponden a Bosque Natural (24% del total), 206,59 hectáreas corresponden a Herbáceas Arbustivas (40% del total), 105,49 hectáreas corresponden a pastos (20% del total) y finalmente 78,74 ha corresponden a rastrojos (15% del total).

### 3.1.2. Mapa de uso potencial

Figura 3-2: Mapa de uso potencial.

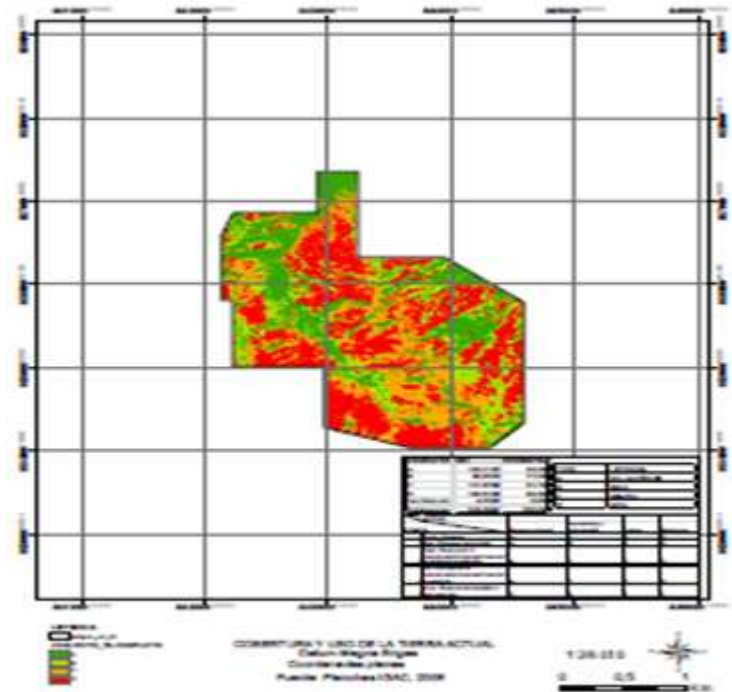


En cuanto a los usos potenciales del suelo se tomó el mapa ya existente en el POMCA del Tolima que fue diseñado en agosto de 2008 ya que concuerda con el diagrama de bloques planteado en la presente investigación, al observar éste se puede establecer de primera mano el gran impacto ambiental que tendrá la futura y muy posible extracción del oro por parte de La Anglo Gold en la región de Cajamarca Tolima, en este mapa se observa que el 9,26% del total del área a intervenir pertenece a Paramo, equivalentes a 47,77 ha, un 35,47% constituye área para la conservación como forestal protector-productor, equivalentes a 182,93 ha, un 7,9% área para la conservación como forestal - protector equivalentes a 40,72 ha, en áreas erosionadas y/o degradadas se encuentra el 3,22% equivalentes a 16,59 ha, en bosques municipales se encuentra el 44,11% equivalentes a 227,52 hectáreas, y finalmente en área destinada para el abastecimiento hídrico urbano se encuentra el 0,04% equivalente a 0,23 ha.

Vemos entonces, como aun sin comenzar la explotación del área entregada a la Anglo Gold se observa que existen inconvenientes en la utilización del recurso suelo.

### 3.1.3. Mapa de conflicto de usos del suelo.

Figura 3-3: Mapa de conflicto de usos del suelo.



Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

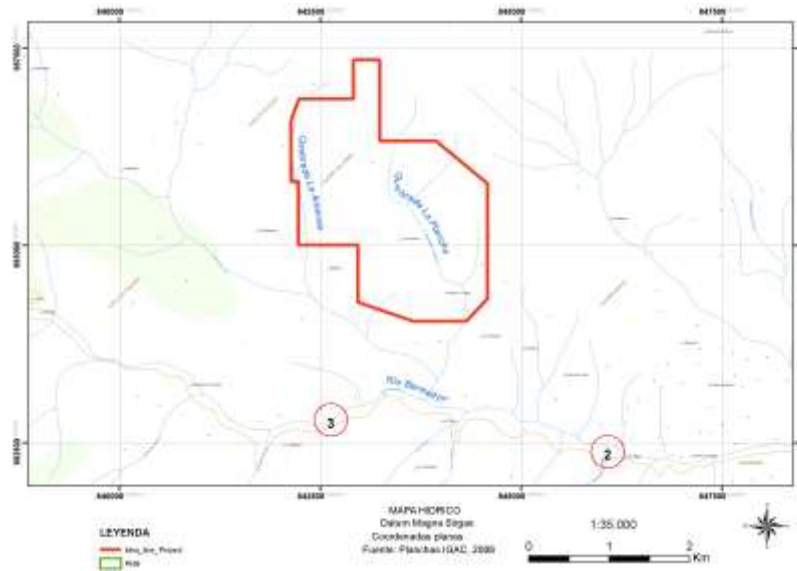
Este mapa es resultado de la combinación del Mapa de Uso Actual y el Mapa de Uso Potencial el cual nos permite observar las relaciones existentes entre los dos, gracias a él podemos definir si el uso que actualmente se le está dando a las áreas de estudio corresponde a los usos que están estipulados en el POMCA vigente o si las áreas se encuentran en riesgo, para la elaboración del mapa anterior se establecieron como A sin conflicto, B Conflicto bajo, C conflicto medio y D conflicto alto, luego de superponer las capas se obtuvieron los siguientes resultados: del total de las 516.0631 hectáreas 120,1137 hectáreas (23%) se encuentran sin conflicto área verde de la Figura 3-3 distribuidas en áreas de paramo, bosque municipal y área para la conservación como protector productor según POMCA y en zona de bosque natural según mapa de uso actual, con bajo conflicto se encuentran 89,3515 hectáreas (17.3%) las cuales se encuentran en zona de

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

bosque municipal según POMCA y en herbáceas arbustivas según mapa de uso actual zona verde claro de la gráfica, en conflicto medio se encuentran 111, 8768 hectáreas (21,7%) distribuidas en áreas de paramo, área para la conservación como forestal y protector, área para la conservación como forestal y productor y áreas erosionadas y degradadas según POMCA, según mapa de uso actual se encuentran distribuidas en herbáceas y arbustivas, rastrojos zona amarilla de la gráfica, finalmente con nivel de conflicto alto zona roja de la gráfica se observa que 190,5169 hectáreas tienen este tipo de conflicto distribuidas según el POMCA en área de paramo, área para la conservación como forestal y protector, área para la conservación como forestal y productor y áreas erosionadas y degradadas todo lo anterior como se puede observar claramente en el mapa.

### 3.1.4. Mapa hídrico.

Figura 3-4: Mapa hídrico.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

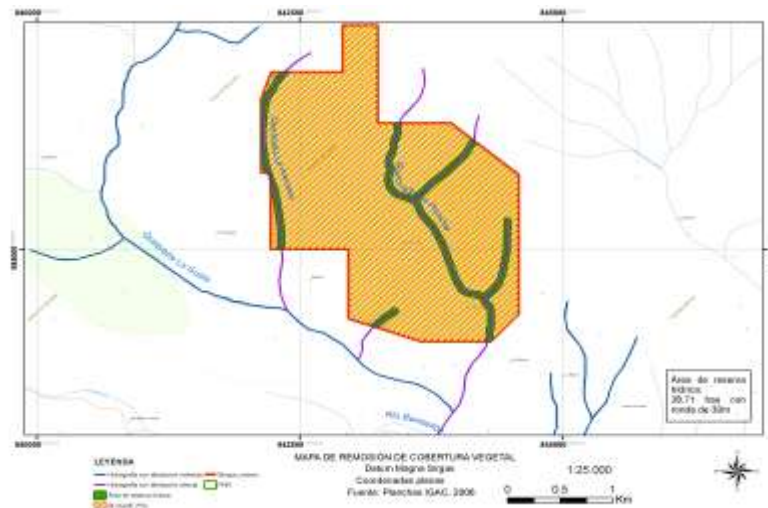
En la parte hídrica se puede observar que la zona de exploración minera y próxima a explotación se encuentra ubicada sobre las quebradas La Plancha y La Arenosa, las cuales pertenecen a la cuenca del río Coello, a la cuenca menor del río Bermellón y a la subcuenca La Guala.

### 3.2. PROYECCIÓN DE LA CAPA VEGETAL, EMISIONES Y AFECTACIÓN DE LA RED DE DRENAJES CON OCASIÓN DE LA OPERACIÓN MINERA.

En el presente acápite se muestra la cartografía correspondiente a las proyecciones realizadas en el software Arc-Gis, donde se observa la degradación que se produciría por el aprovechamiento del oro en la Mina La Colosa en el municipio de Cajamarca Tolima y en los sectores circundantes.

#### 3.2.1. Afectación de la capa vegetal y red de drenajes.

Figura 3-5: Mapa perdida cobertura vegetal.



Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

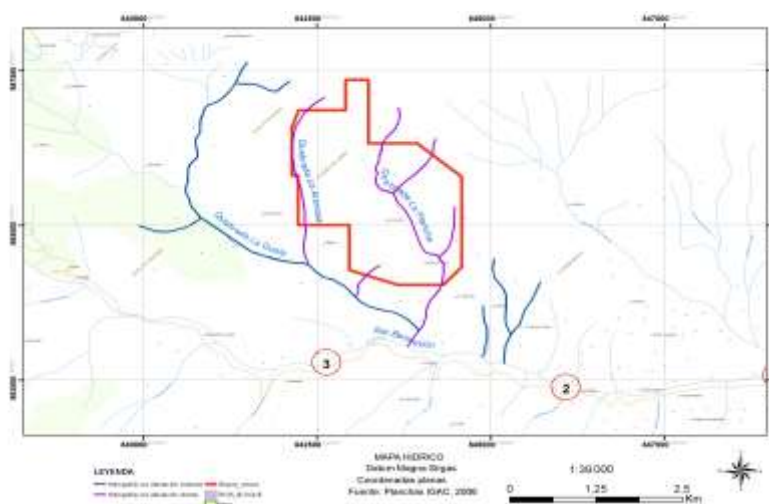
En cuanto a la pérdida de cobertura vegetal se logró establecer que la pérdida sería total, un aproximado de 516.0631 hectáreas en la primera fase de explotación, vale la pena aclarar que cuando se inicia el proceso de explotación lo primero que realizan las compañías mineras es una limpieza de la cobertura vegetal del área a intervenir, esto implica la pérdida de la biodiversidad de fauna y flora presente, así como la erosión, pérdida de suelo fértil y alteración de los procesos propios de la orogenia, aumento de los riesgos geológicos por efecto desestabilizador en sobrecargas, excavaciones o acciones propias de afectación en el nivel freático, la pérdida de las propiedades físicas ya sea en la textura o en la estructura edáfica producto de la explotación de oro la cual se podría observar concretamente en la formación de costras y deposición de partículas, pérdida del régimen hídrico,



Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

generando una erosión inducida y no propia de los procesos naturales, el área de reserva hídrica se estima en 38,71 hectáreas con una ronda de 30 metros para cada una de las quebradas que están presentes en el área de explotación, para efectos de la cartografía resultante es importante resaltar que la región achurada de color mostaza perdería todas las condiciones de suelo fértil, como se puede observar en la figura 3-5, para el primer periodo quinquenal no existirá al finalizar la capa vegetal, para los dos siguientes no existe un plan de recuperación de la misma por efecto de ser una explotación a tajo abierto.

Figura 3-6: Mapa afectación de red de drenajes.



Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

La compañía plantea la realización de cercas vivas estableciendo un área de ronda alrededor de los cuerpos de agua con la finalidad de que las mismas no se vean afectadas, haciendo un análisis como se muestra en la Figura 3-6, se observa lo invasivo de los procesos de explotación, se puede inferir que este método es solo paliativo.

Las quebradas La Plancha y La Arenosa, además de La Colosa y Cajones serán susceptibles de contaminación por la operación de extracción llevada a cabo por la Anglo Gold a futuro, subsecuente con la contaminación de los ríos el Bermellón y el río Coello, los cuales abastecen directamente a los pobladores de las veredas La Luisa, La Escalera, La Paloma, La Bolívar y El Diamante, poniendo en grave riesgo el abastecimiento de aproximadamente 2600 habitantes de la región de manera directa e indirectamente a los municipios de Ibagué, Cajamarca, Rovira, San Luis Espinal, Coello y Flandes y a los usuarios del distrito de riego USOCOELLO aproximadamente 169 veredas.

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

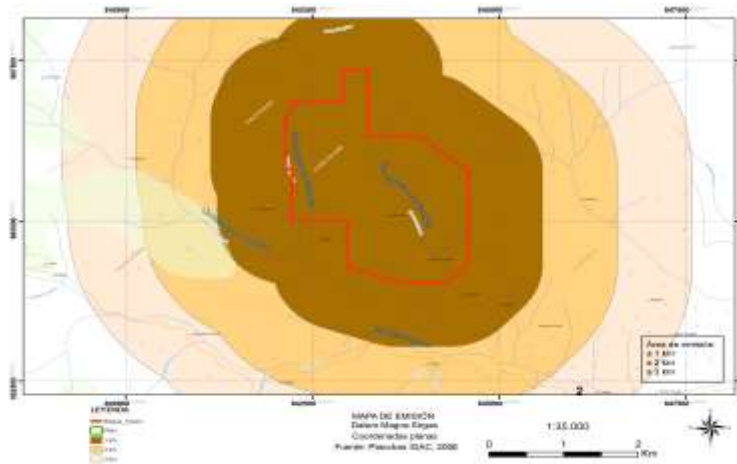
Como bien es sabido los químicos implementados para la extracción del Oro se filtran a través de suelo contaminando las reservas de aguas subterráneas existentes en el área, además la minería de oro ha tenido una larga serie de accidentes catastróficos para los ecosistemas y las poblaciones, contaminando regiones remotas, hasta a 2000 km del sitio del accidente [Brackett 1998];

En las aguas naturales no contaminadas, las concentraciones son de 0.001- 0.05 miligramos de mercurio por litro, mientras en aguas usadas industriales, pueden alcanzar 100.000 miligramos por litro [Dash, Gaur, Balomajumder, 2006]. La hidrografía con afectación directa se muestra de color morado dado que está dentro de la mina y la de color azul esta externa a la misma pero se nutre de las quebradas que pasan por La Colosa.

Se considera la pérdida de masa de agua dado la utilización de la misma en el proceso extractivo, esto implica la modificación del flujo de las mismas y la correspondiente contaminación en aguas superficiales y subterráneas, hechos que sucederán a lo largo de los tres periodos quinquenales.

### 3.2.2. Proyecciones cartográficas emisiones producidas en la explotación minera.

Figura 3-7: Mapa de emisiones.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Las emisiones producidas en la explotación del oro se deben principalmente a la frecuente utilización del mercurio en su proceso de extracción, sustancia altamente toxica tanto para el ser humano como para todas las especies vivas del planeta, el



mercurio viaja a través del aire y puede llegar a cubrir varios miles de kilómetros de distancia desde el lugar de la primera emisión, causa daños permanentes en los seres humanos principalmente en el cerebro, riñones, y sistema digestivo, su impacto es más agudo en fetos, bebés y niños, pues el metal pasa a la placenta y pasa a la leche materna, en el mapa podemos ver la proyección establecida de emisiones que se presentaran en la mina de oro La Colosa, la cual se estima que alcancen aproximadamente en una primera etapa los 3 km de distancia.

Para el análisis de las emisiones se ha tenido en cuenta la que corresponden al tipo atmosférico y no las que hacen referencia a las del suelo, de aguas superficiales y subterráneas, se observan los procesos de carga y transporte, la remoción eólica referida al material fino y a las áreas destinadas para el depósito de materiales extractivos, los gases emitidos que se originan en la combustión del combustible de la maquinaria empleada para este tipo de explotación y la emisión de carácter natural referida al CO<sub>2</sub>, el ruido generado por las máquinas, las ondas de choque producidas por las explosiones con dinamita que se propagan por el aire.

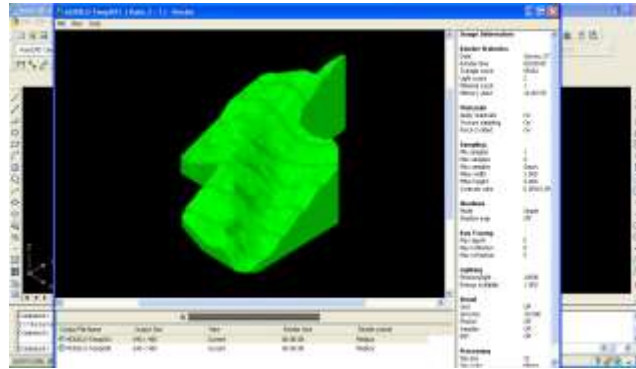
La zona atmosférica es de confluencia intertropical y con las condiciones orográficas que posee, se estimula la formación nubosa y de lluvias moderadas, se tipifica como un área fuerte de contaminación por tener diversas fuentes de emisión, sin considerar los volúmenes de material arrojado a la atmósfera, las longitudes de onda de choque y los niveles de ruido, definiendo un área de afectación modelada por las emisiones de 1, 2 y 3 km.

Los valores de distancia resultante de la categorización topográfica presente en el sitio y a la presencia o ausencia de los factores concurrentes de emisiones que para nuestro caso todos hacen presencia indistintamente es decir homogeneizar las variables, genera un mapa con polígonos que enmarcan el área de influencia que es resultante de tomar una determinada longitud para ejemplificar las áreas afectadas de carácter inmediato por dicha extracción del material, este tipo de análisis muestra la ocurrencia de las emisiones descritas anteriormente.

En los términos de este diseño se tuvo en cuenta el carácter invasivo o próximo a la contaminación por distancia, lo cual permite definir que el nivel de incidencia más alto corresponde a 1 Km, medio a 2Km y Bajo a 3 Km. Esto sucederá dentro de los periodos quinquenales de 0 a 5 años, de 5 a 10 y de 10 a 15 años.

### 3.2.3. Proyección definitiva explotación minera y curvas de nivel.

Figura 3-8: Volumen proyectado de explotación minera.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Con el modelo de elevación digital y la cartografía desarrollada se procedió a realizar la proyección de la cantidad de material a extraer del área de estudio se tomó el polígono formado por el diagrama de bloques el cual muestra las 516.0631 hectáreas que se van a intervenir en la primera etapa de explotación y se creó el modelo digital tridimensional con el software Arc-Gis con los siguientes datos:

Tabla 3-1: Cálculos toneladas de suelo a extraer.

CALCULOS TONELADAS DE SUELO A EXTRAER					
RENDIMIENTO DE ORO POR TONELADA gt	CANTIDAD ESTIMADA DE ONZAS TROY EN CAJAMARCA	CANTIDAD DE GRAMOS TROY POR ONZA	CANTIDAD TOTAL DE GT EN CAJAMARCA ESTIMADOS	TOTAL DE GRAMOS TRATADOS POR TONELADA	TOTAL DE TONELADAS A EXTRAER
1	24000000	31,1034	746481600	746481600	746481600

Nota el rendimiento oscila entre los 0,5 y 1 gtxtn

Elaboro: Autores 2012.

Para la proyección de los datos de la Tabla 3-1 se tomó que el rendimiento de oro por tonelada de material extraído en promedio es de un Gramo Troy por tonelada, según los estimados de la Anglo Gold en el área a intervenir en el municipio de Cajamarca se encuentran aproximadamente 24.000.000 de Gramos Troy, por ello se procedió a calcular por medio de una regla de tres simple la cantidad de toneladas a extraer del área para obtener los Gramos de oro proyectados los que dió como resultado setecientos cuarenta y seis millones cuatrocientos ochenta y un mil seiscientos toneladas de material a extraer (746.481.600) para obtener el oro

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

calculado, luego se procedio a convertir esta cantidad de material en volumen diseminado claro esta en el area de estudio para poder obtener modelo 3d de la Grafica 3-8 según la siguiente tabla.

Tabla 3-2: Volumen total de extraccion.

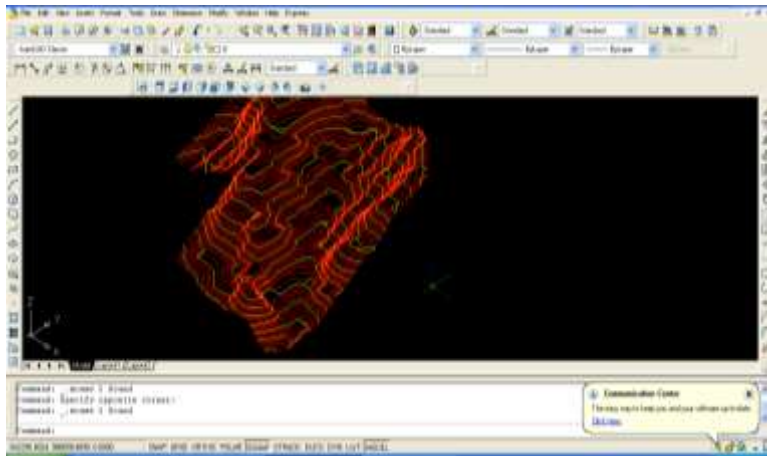
VOLUMEN TOTAL				
TONELADAS EXPRESADAS EN GRAMOS	DENSIDAD POR CM3	TOTAL DE CM3	TOTAL DE M3	TOTAL KM3
74648160000000	1,7	439106823529412	439106823,53	0,439106824

Elaboro: Autores 2012.

Se procedió a convertir las toneladas en gramos y luego por medio de la densidad del suelo se logra establecer el equivalente de las toneladas en cm<sup>3</sup> los cuales luego se convirtieron a km<sup>3</sup> para lograr obtener un aproxima acorde a la realidad asi llegar al volumen deseado Grafica 3-8, el cual tiene un volumen de 0.439106824 km<sup>3</sup>.

Ya con el volumen y el grafico en 3D establecidos y de acuerdo a la topografía del terreno se establecen las curvas de nivel del mismo por medio del software como se observa en la Grafica 3-9.

Figura 3-9: Curvas de nivel volumen de explotación.



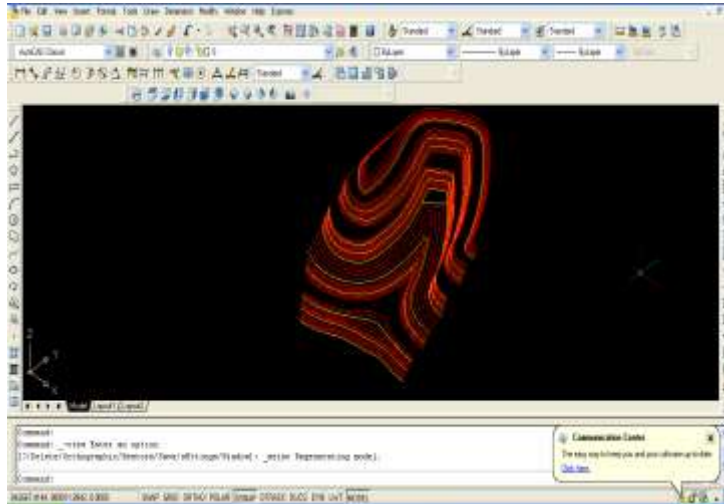
Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

Luego de obtener las diversas curvas de nivel del terreno se procedió a establecer la proyección del terraseo que se llevaría a cabo en el terreno como se muestra en la Figura 3-10.

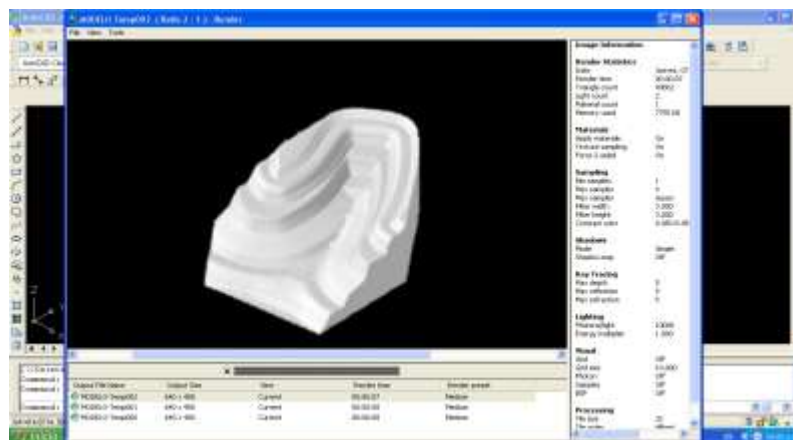
Figura 3-10: Proyección terraseo.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Finalmente se realizó la proyección definitiva de como quedará el terreno luego de la explotación minera la cual está calculada para un periodo de cerca de 15 años, como se puede observar en la Figura 3-11 y 3-12.

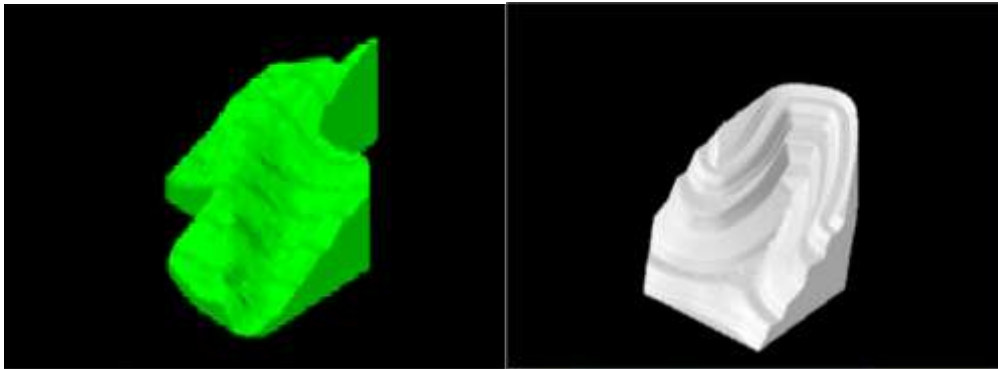
Figura 3-11: Aspecto definitivo del área explotada.



Elaboro: Autores 2012.  
Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

Figura 3-12: Comparativo área sin intervenir vs área intervenida a lo largo de los 15 años de explotación.



Elaboro: Autores 2012.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi-Centro de Información Geográfica.

Dentro del trabajo desarrollado a lo largo de esta investigación, se estimó hacer la presentación grafica multitemporal referida en el tiempo a la explotación de la mina, generando proyecciones en cuanto a destrucción de la capa vegetal, emisiones y afectación de los acuíferos, de lo cual se observa que:

Para el periodo de 0 a 5 años: Al finalizar no existirá la capa vegetal, se presentarán las emisiones relacionadas en 3.2.2. y se afectaran todos los acuíferos indistintamente tanto las quebradas como el Rio Bermellón.

En el periodo de 5 a 10 años: las emisiones y afectación de acuíferos aumentará por ser el tiempo de gran explotación.

Entre el periodo de 10 a 15 años: Las emisiones dadas por efecto de la explotación así como la destrucción del subsuelo son constantes y de difícil recuperación.

#### **4. CONCLUSIONES.**

La Mina de Oro La Colosa, de cuyos títulos mineros es propietaria la empresa Anglo gol Ashanti, tiene la particularidad de ser una de las minas más grandes del mundo comparable con la Mina Yanacocha, ubicada en el departamento de Cajamarca en el Perú, dentro de las particularidades observadas dentro del trabajo realizado en la proyección del impacto que ocasionaría la eventual explotación de esta área es pertinente observar desde el orden de la Geomática lo siguiente:

Las imágenes híper-espectrales serían de gran ayuda para efectuar análisis detallados sobre la cobertura vegetal, estado de maduración, nivel de clorofila entre otros, así mismo en lo que se refiere a los acuíferos, niveles de los sólidos en suspensión y contaminaciones, con el fin de obtener información en tiempo real que permita generar cartografía que haga visible los impactos de la exploración del oro, valiéndose para ello de las firmas espectrales o respuestas solares que cada uno de los elementos tiene en el espacio y que necesariamente pueden no ser visibles para el hombre, pero que mediante el tratamiento con sensores de última generación se hacen evidentes y darían lugar a generación de mapas consecuentes con lo que pasa en el terreno.

Normalmente cuando se adelanta un tipo de trabajo de identificación y valoración de impactos ambientales solo se tiene en cuenta la utilización de un tipo de insumo cartográfico, llámese imagen de satélite, imagen de radar, imágenes híper-espectrales o fotografías aéreas. La combinación de imágenes de satélite y fotografías aéreas que hemos realizado significan un importante avance en cuanto a la delimitación e identificación de las variables de impacto ambiental, dado que permite complementar la información que se obtiene de uno y otro producto, la descripción espectral que se produce en una imagen de satélite más la característica pancromática de una fotografía, a su vez generan un mejor análisis dentro del trabajo realizado.

La utilización de software y sensores remotos para realizar la cartografía como herramienta de análisis, que para nuestro caso es ERDAS IMAGINE y Arc-Gis,

disminuyen costos sustanciales en las consultorías ambientales de carácter minero, evita desplazamientos innecesarios para la toma de muestras y permite focalizar los esfuerzos en otras áreas del estudio que se requiera.

Los modelos digitales de elevación realizados en esta zona para observar la cantidad de material a extraer, se constituyen en excelente insumo para el desarrollo de los estudios de impacto ambiental, por cuanto permiten crear escenarios del modelo de explotación agilizando el análisis y tratando las variables que antes se consideraban constantes.

Observando el ordenamiento territorial, el cual está enmarcado en la ley 388 de 1997, el plan de Ordenamiento del Municipio de Cajamarca, así como el POMCA y otros estudios referidos a las condiciones de explotación y de utilización del suelo, se manifiesta:

La necesidad de adelantar una política de estado y no de gobierno, que permita orientar el territorio hacia un desarrollo congruente con el medio ambiente que se refleje el en bienestar de la población, dado que se cómo se muestra en el capítulo de 3 de este documento, existen conflictos de uso del suelo aun sin tener en cuenta la posible explotación del oro, es definitivo entonces que el código minero que se piensa modificar y que se encuentra vigente, tenga en cuenta lo anteriormente mencionado para efectos de ocasionar el menor impacto posible en el espacio geográfico.

La extracción del oro en Colombia ha estado presente aun antes de la llegada de los españoles, siempre se ha buscado ya bien sea como fuente de riqueza, de adoración a dioses o suntuario, en el punto de vista del medio ambiente es necesario tener en cuenta las distintas metodologías que se utilizan para cualificar y cuantificar el impacto ambiental que se origina a partir de esta actividad extractiva con sus correspondientes afectaciones, en resumen todas orientadas a presentar una información que permita adelantar correctivos o que muestre el estado del arte, lo que nos lleva a decir que:

La pérdida de especies nativas ocasionara un deterioro del aire y de la calidad de las aguas presentes, en definitiva los pasivos ambientales que son de difícil identificación a la hora de la extracción minera nos permite inferir la necesidad de ejercer un control constante y directo sobre la dicha actividad, en el caso de ser autorizada, esto con el fin de monitorear y controlar las afectaciones en el medio, la sustracción de un polígono de la Reserva Forestal como lo pretende la compañía Anglo Gold Ashanti, aún con los estudios que esta presenta como justificación dado el nivel de explotación realizada por los campesinos y específicamente en el "ESTUDIO AMBIENTAL PARA LA SOLICITUD DE SUSTRACCIÓN DE UN ÁREA DE LA RESERVA CENTRAL EN EL MUNICIPIO DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA PROYECTO DE EXPLORACIÓN MINERA, de Agosto 20 de 2008, no son pertinentes dado que en principio están sesgados por

ser parte interesada y teniendo presente los impactos que este tipo de explotación han causado en el mundo.

Las proyecciones en cuanto a destrucción de la capa vegetal, emisiones y afectación de los acuíferos que se han realizado en resumen muestran que los impactos a corto plazo son inmediatos, dada la compleja topografía del sector, en esta caso pendientes mayores al 25% en el área objeto de estudio y la existencia de tres quebradas; la Plancha, la Arenosa y la Guala así como el Río Bermellón, características que hacen que esta área tenga especial particularidad dada su incidencia en el medio geográfico donde se ubica, a la importancia que tiene en los pobladores cercanos y su incidencia departamental, regional y nacional que tiene dada la cantidad de oro calculada.



## 5. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se generan a continuación contemplan dos puntos de vista, el primero es el concerniente a la no explotación del oro en el municipio de Cajamarca-Tolima en el sitio de exploración denominado La Colosa ya que como lo muestran los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo (proyecciones cartográficas) indican que la pérdida de recursos hídricos y de suelo serían totales y de lo cual se infiere que la explotación realizada en la zona causaría una alteración irreversible a la capa superficial general del suelo dejando un paisaje futuro desértico, además los recursos hídricos y acuíferos podrían verse afectados incidiendo directamente sobre la flora y fauna del sector, el arrastre de los desechos mineros por las fuentes de agua ocasionaría perjuicios en la agricultura debido a que estos esterilizarían y erosionarían los terrenos de cultivo.

De otra parte la proximidad del lugar de explotación al casco urbano y a los diferentes asentamientos rurales ocasionaría problemas de salud en los pobladores de la región ya que se verían afectados por los gases, ruidos, polvos en suspensión produciendo enfermedades respiratorias y del sistema nervioso. Ahora bien, a continuación se exponen algunas recomendaciones generales y particulares en caso de que se lleve a cabo dicha explotación y futuro aprovechamiento del oro de la zona:

- Fortalecimiento del Ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible.
- Fortalecimiento de las Corporaciones Autónomas Regionales.
- Fortalecimiento de la regulación ambiental y social minera en Colombia.
- Ordenamiento territorial de los Paramos.
- Utilización de redes de drenaje y depuración de vertidos.

- Reciclaje de los desechos producidos en la extracción minero para luego reutilizarlos en otro tipo de actividades, ya sea en el mismo proceso de explotación o en otros procesos productivos.
- Restauración del terreno, rellenando la cavidad minera utilizando las balsas y escombreras.
- Mantenimiento de los diques de contención.
- Remediación de los terrenos favoreciendo la formación de micorrizas, usando lodos ricos en nutrientes, o añadiendo cal para neutralizar la acidificación.
- Introducción de especies vegetales, siendo recomendable el sembrado de trébol u otras leguminosas.
- Plan de manejo ambiental acorde a los retos medio ambientales del momento.
- Diseño e implementación de cercas vivas en los alrededores de los cuerpos de agua.
- Diseño e implementación de programas de control de emisiones.
- Diseño e implementación de un programa de protección a ecosistemas terrestres.
- Diseño e implementación de un programa de recuperación de sectores de extracción.
- Diseño e implementación de un programa de planeación ambiental en el proyecto.
- Diseño e implementación de un programa de manejo de aguas lluvias.
- Diseño e implementación de un plan de seguimiento y monitoreo de control ambiental de la explotación minera.
- Diseño e implementación de un mecanismo de análisis de riesgo y planes de contingencia.
- Diseño e implementación de un mecanismo de participación ciudadana.
- Reformar el Decreto 2380 de 2010 en lo atinente a restablecer la necesidad de solicitar licencia ambiental para la fase de exploración.
- Mantener la disposición del Art. 3 inc. 5 de la Ley 1382 de 2010 en cuanto a la necesidad de solicitar sustracción de reserva antes de la fase de exploración.
- Promover la eliminación inmediata del mercurio en las explotaciones mineras mediante proyectos de Ley.
- Promover la eliminación inmediata de otras sustancias nocivas (plomo, arsénico, cadmio etc.) en las explotaciones mineras mediante proyectos de Ley.

Proyección del Posible Impacto Hídrico, de Capa Vegetal y de Suelo Generado en el Aprovechamiento del Oro, Caso Mina La Colosa, Cajamarca, Tolima Mediante Imágenes Obtenidas por Sensores Remotos

- Desarrollo de técnicas mineras cada vez más amigables con el medio ambiente.
- Creación de áreas excluibles de exploración y explotación minera (fortalecimiento de la lista ya existente Art. 34 del Código de Minas).
- Adopción de la totalidad de instrumentos de ordenamiento y planificación ambiental del territorio nacional.
- Delimitación de Paramos.
- Reordenamiento y zonificación de las reservas forestales.
- El Ministerio de Minas culmine el Plan Nacional de Ordenamiento Minero.
- Control de la minería informal.

## 6. BIBLIOGRAFIA.

**[1] Antenucci, J.C., Brown, K. y Kevany, M.J., 1991.** *Geographic Information Systems. Aguide to technology, Van Nostrand Reihold, New York.*

**[2] Álvarez J y Muñoz R., 1987.** *Distribución del cromo, níquel, y cobalto en un ambiente exógeno relacionado al cuerpo ultrabásico de Ituango. Boletín Geológico INGEOMINAS, Vol. 28 No. 3, pag. 49-69. Bogotá, Colombia,*

**[3] Brackett, S., Moran, R, 1998.** *Observations on the Chemistry Toxicity, and Analisis of Cyanide in Mining-related Waters. Mineral Policy Center, US.*

**[4] Bolanos Arias, Sandra Lorena., 2000.** *Generación de modelos digitales de elevación con imágenes radarsat por el método radargrametrico, Valle del Cauca – Colombia.*

**[5] Bosque Sendra, J. 1997.** *Sistemas de Información Geográfica. RIALP. España*

**[6] Burrough, P.A., 1986.** *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford. pp. 194.*

**[7] Cabrera, Ederson; Galindo García, Gustavo, Bedoya Beltran, Franklin Arles; Arenas Toledo, John Mauricio., 2002.** *Aplicación de los sensores remotos en la evaluación de la distribución y superficie del bosque manglar vallecaucano con estimación de tipos forestales de cobertura (un enfoque metodológico) / Aproximación metodológica para la delimitación de ecosistemas de enclaves secos: caso piloto. Cañones del río Dagua y del río Tuluá, Valle del Cauca – Colombia.*

**[8] Campbell, James B. 1987.** *Introduction to REMOTE SENSING. The Guilford Press. New York-London.*

**[9] Carter, D.J. 1986.** *The Remote Sensing Sourcebook, London, Mc Carta Ltd.*

**[10] Chuvieco, E. 2008.** *Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid. España.*

**[11] Conama, 1994.** *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago-Chile.*

**[12] Conesa, F. 2003.** *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.*

**[13] Cracknell, A., Hayes, y Gen, H. W. (Eds.) (1990) - Remote Sensing yearbook 1990, London, Taylor and Francis.**

**[14] Dash, R., Gaur, A., Balomajunder, C. 2009.** *Cyanide in Industrial Waste Waters and its Removal: A Review on Biotreatment, Journal of Hazardous Material. US.*

**[15] Faig, Wolfgang.** *Automatic building extraction from aerial images. University New Brunswick, Canada. Amsterdam 2000.*

**[16] Franco Maass, Sergio.** *Principios básicos de Cartografía y Cartografía automatizada. 1a Edición. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, 2003.*

**[17] Granados, J. 2011.** *Comportamiento de la Producción de Minerales y de las Regalías Mineras en Colombia, Dirección de Minas, Ministerio de Minas y Energía. Bogotá.*

**[18] ITGM, 1989.** *Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería. Instituto Tecnológico Geo-minero de España, Madrid.*

**[19] Johnston, C.A., 1997.** *Geographic Information Systems in Ecology, Blackwell Science.*

**[20] Lillesand ,T. M. y Kiefer, R. W. (1987) -Remote Sensing and Image Interpretation. Cuarta Edición. (1996) New York, John Wiley and Sons.**

**[21] Lyle, F.S. 1987.** *Surface Mine Reclamation Manual. Bureau of Mines, Washington D.C., Department of the Interior, US.*

**[22] Martínez, R. 2011.** *Estudio General de Riesgos Integrales del Proyecto de Exploración y Explotación Minera La Colosa, Colombia. Facultad de Agronomía, UT. Ibagué, Tolima.*

**[23] Mather, Paul M. (reimpresión 1996) Computer Procesing of Remotely Sensed Images. An Introduction. Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn. Great Britain.**

**[24] Mejia, M y Durango, R., 1982.** *Geología de las lateritas Niquelíferas de Cerro Matoso S.A. Boletín de Geología No. 29, Vol. 15. pp. 99-116.*

**[25] Mendivelso L., Domingo., 2005.** *ANÁLISIS GEOGRÁFICOS, No. 29, 2005 Las amenazas naturales en el departamento de Nariño, Colombia, mediante la interpretación de imágenes de sensores remotos, Nariño.*

**[26] Murai, S., 1999.** *SIG - Manual Base, Conceptos fundamentales. Revista Selper 15(1).*

**[27] Murillo Sandoval, Paulo José., 2006.** *Estado del arte en el uso de la percepción remota en el cultivo de la caña de azúcar y posibles usos para el sector azucarero colombiano: caso de aplicación: Clasificación de las variedades CC85-92 y CC 84-75 usando datos LANSAT 7 ETM+ [recurso electrónico], Valle del Cauca – Colombia.*

**[28] Ortiz, B.F.,2004.** *Guías para la localización de metales preciosos en ofiolitas colombianas. Informe de avance de proyecto cited XIII.1. Ofiolitas: características mineralógicas y petrográficas del yacimiento de níquel de Cerro Matoso. Rev. Dyna, año 71, No. 142, pp. 11-23. Medellín, ISSN 0012-7353.*

**[29] Pinilla, C. (1995).** *Elementos de Teledetección. Editorial "ra-ma". Madrid. España.*

**[30] Remote sensing: moving towards the 21st century / International Geoscience and Remote Sensing Symposium (1988 : Edinburgh, UK). (MAY 1988)**

**[31] Revista de Teledetección, José Luis Labrandero, Asociación Española de Teledetección, Pinar 25, 28006 Madrid.**

**[32] Roa Niño, Diego Alfredo; Torres Chamorro, Édgar Gustavo; León Pérez, Jonás C., 2005.** *Análisis y estimación de áreas de rentabilidad maderera utilizando tecnologías SIG y sensores remotos. Caso de estudio: área productora de Mecaya, departamento de Putumayo. Putumayo.*

**[33] Sabins, F.F. (1987)** - *Remote Sensing. Principles and Interpretation.* 2ª Edición, W.H. Freeman and Co., New York.

**[34] Sancho Comíns, J. y Chuvieco Salinero, E. (1992)** *Iberoamérica desde el Espacio.* Universidad de Alcalá de Henares. Lunwerg Editores S.A. España.

**[35] Scanvic, T. (1989)** - *Teledetección Aplicada.* Madrid, Paraninfo (Traducción del original francés de 1983).

**[36] Vargas, G y Rodríguez, C., 2009.** *Metodología para la Prospección de Níquel Utilizando Técnicas de Sensores Remotos.* Universidad Nacional de Colombia (Dpto. de Geociencias)-INGEOMINAS.

#### SITIOS WEB

*Ministerio de Minas y Energía [Web en línea]. <>.http:www.minminas.gov.co<>.*  
*[Consulta: 11/12/12].*

*Departamento Nacional de Estadística [Web en línea]. <>.http:www.dane.gov.co<>.*  
*[Consulta: 18/01/13].*

*Instituto Geográfico Agustín Codazzi [Web en línea]. <>.http:www.igac.gov.co<>.*  
*[Consulta: 22/10/12].*



*Banco de la República [Web en línea]. <>.http:www.banrep.gov.co<>. [Consulta: 22/10/12].*

*Universidad Nacional de Colombia [Web en línea]. <>.http:www.ciencias.unal.edu.co<>. [Consulta: 22/11/12].*

*Banco de la República [Web en línea]. <>.http:www.banrep.gov.co<>. [Consulta: 22/10/12].*

*Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas Universidad Nacional de La Plata [Web en línea].<>.http:www.fcaglp.unlp.edu.ar<>. [Consulta: 25/10/12].*

*Facultad de Ciencias Exactas Universidad Nacional de Córdoba [Web en línea]. <>.http:www.efn.uncor.edu.ar<>. [Consulta: 28/10/12].*

*Alcaldía Municipal de Cajamarca-Tolima [Web en línea]. <>.http:www.cajamarca-tolima.gov.co <>. [Consulta: 28/10/12].*