



**ARMADO DE BLOQUES EXPLOTABLES Y CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS
UNIDADES ALUVIALES, RÍO NECHÍ (MINAS SANTA PAULA 7 Y 8).**

DANIEL DAVID DIAZ IBARRA

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Físico-Químicas
Escuela de Geología
Bucaramanga
2012**

**ARMADO DE BLOQUES EXPLOTABLES Y CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS
UNIDADES ALUVIALES, RÍO NECHÍ (MINAS SANTA PAULA 7 Y 8).**

DANIEL DAVID DIAZ IBARRA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE GEÓLOGO



Director:

Ph.D. Luís Enrique Cruz Guevara

Codirector:

Ph.D. Ana María Correa Martínez

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Físico-Químicas
Escuela de Geología
Bucaramanga
2012**

PROLOGO

La prospección de placeres aluviales de oro en Colombia, a nivel de la pequeña, mediana y aún en el caso de empresas mineras bien conformadas, es una aventura económica que muchas veces conduce a fracasos de proyectos o a la realización de gastos operacionales ineficientes. Los métodos de prospección en los mejores de los casos se limitan a una evaluación directa de una zona elegida con poca base geológica, siendo muy alta la incertidumbre para hallar un placer aurífero, y poco exhaustiva la evaluación que se logra del yacimiento. Sin dejar de reconocer que debido al auge de la minería, muchas actitudes han cambiado y es más frecuente que muchos mineros acudan a profesionales de la Geología para planear exploraciones y realizar estudios geológicos que permitan reducir el grado de incertidumbre en el proceso, y conocer más a fondo la naturaleza de los yacimientos para optimizar los procesos de explotación. Es el caso de Mineros S.A. que a pesar de ser una empresa con tanta historia, hasta hace pocos años cuenta con profesionales en Geología.

En un sentido amplio la prospección geológica cubija una gran cantidad de investigaciones y operaciones encaminadas a determinar la presencia de minerales económicos y yacimientos de éstos en un área específica. Por lo tanto implica la integración interdisciplinaria de geólogos, ingenieros de minas, administradores etc., para desarrollar un proceso que cubre desde la exploración geológica superficial y el levantamiento cartográfico de la zona, hasta la evaluación de los yacimientos que se encuentren y la planeación general de la explotación. Un proceso tan amplio, está dividido en etapas en las cuales el grado de precisión y la minuciosidad dependen del aspecto del proyecto que se realice en ese momento y en donde cada etapa está caracterizada por la aplicación de herramientas geológicas y técnicas diferentes.

Para toda aquella persona que lea este informe, me parece conveniente relatar de forma breve que para un proyecto de esta naturaleza no se puede pretender abarcar el conjunto de trabajos geológicos que se desarrollan desde el comienzo de las investigaciones, se pretende más bien entregar una guía específica que intenta brindar información que permita mejorar el proceso de generación de reservas aluviales, con el armado de bloques económicamente explotables, partiendo de conocimientos geológicos y utilizando las herramientas proporcionadas por la empresa Mineros S.A. permitiendo optimizar los procesos de prospección y explotación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	15
1. MINEROS S.A.....	15
1.1 MISIÓN	15
1.2 VISIÓN	15
1.3 SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL	15
1.4 POLÍTICA DE GESTIÓN INTEGRAL.....	15
1.5 VALORES CORPORATIVOS	16
1.6 PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS	17
1.7 OPERACIÓN ALUVIAL.....	18
MARCO TEÓRICO	21
2. GEOLOGÍA	21
2. 1 GEOLOGÍA REGIONAL	22
2.1.1 LITOLOGÍA.....	22
<i>Precámbrico.....</i>	<i>22</i>
<i>Paleozoico</i>	<i>23</i>
<i>Mesozoico.....</i>	<i>24</i>
<i>Cenozoico</i>	<i>24</i>
2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	25
2.1.3 GEOMORFOLOGÍA	26
2.2 YACIMIENTO AURÍFERO DEL RÍO NECHÍ.....	31
2.2.1 LOCALIZACIÓN	31
2.2.2 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ.....	32
2.2.3 LITOLOGÍA DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ.....	33
2.2.4 GEOMORFOLOGÍA DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ.....	34
2.2.5 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLOGICAS Y ESTRATIGRAFICAS DEL YACIMIENTO	35
2.2.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ.....	37
2.2.7 GÉNESIS DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ.....	37
2.2.8 DINAMICA FLUVIAL DEL RÍO NECHÍ EN EL SECTOR DE LA EXPLOTACIÓN	38
2.2.9 ORIGEN DEL ORO DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ.....	41

ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA	42
3.1 PLANEACIÓN DE LA EXPLORACIÓN	42
3.2 OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA	45
3.2.1 <i>OBTENCIÓN DE LA MUESTRA</i>	<i>46</i>
3.2.2 <i>PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA</i>	<i>47</i>
3.4 ARMADO DE BLOQUES EXPLOTABLES.....	49
3.4.1 <i>NUEVO BLOQUE CA4</i>	<i>38</i>
3.5 CÁLCULO DE RESERVAS.....	50
3.5.1 <i>MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS</i>	<i>51</i>
3.6 OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS COMO PRACTICANTE DE GEOLOGÍA	52
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS.....	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. MAQUINA ANFIBIA MINEROS S.A.....	19
FIGURA 2. DRAGA DE SUCCIÓN MINEROS S.A	19
FIGURA 3. DRAGA DE CUCHARAS MINEROS S.A.....	20
FIGURA 4. BULLDOZER	20
FIGURA 5. MAPA GEOLÓGICO REGIONAL (MODIFICADO DE GONZÁLEZ, 1999).....	22
FIGURA 6. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO..	32
FIGURA 7. SECCIÓN GENERALIZADA DEL RÍO NECHÍ.	35
FIGURA 8. DINÁMICA DE LAS CORRIENTES, EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN DE MATERIAL (DONALD J. 1994).	38
FIGURA 9. FORMACIÓN DE MEANDRO ABANDONADO (DONALD J. 1994).	38
FIGURA 10. FLUJO Y FORMACIÓN DE MEANDROS Y LAGOS DE MEDIA LUNA.	39
FIGURA 11. FOTO MOSAICO (VUELO C-2580-1996) MINEROS S.A.	40
FIGURA 12. FOTOGRAFÍA DEL VUELO C-258 – 1996; FOTOINTERPRETACIÓN DE VEGETACIÓN.....	42
FIGURA 13. FOTOGRAFÍA DEL VUELO FAL- 272 – 199; FOTOINTERPRETACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES	43
FIGURA 14. PLANEACIÓN DE EXPLORACIÓN (AUTOCAD 2011).	44
FIGURA 15. RED TRIANGULAR QUE CONFORMA LA DISTRIBUCIÓN DE POZOS (AUTOCAD 2011).	45
FIGURA 16. NOMENCLATURA UTILIZADA PARA IDENTIFICAR SONDEOS EN CAMPO MINEROS S.A.	46
FIGURA 17. MATERIAL OBTENIDO DE UN BOMBEO DURANTE LA PERFORACIÓN EN CAMPO.	47
FIGURA 18. PROCESO DE BATEADO DE ARENA NEGRA.	48
FIGURA 19. NUEVO BLOQUE ARMADO (AUTOCAD 2011).	49
FIGURA 20. CÁLCULO DE RESERVAS EN SOFTWARE POLYCAD.....	52

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DISTANCIAS DESDE EL BAGRE A OTRAS POBLACIONES	32
TABLA 2. TABLA DE TAMAÑO DE GRANO UTILIZADA POR MINEROS S.A.	36

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. REGISTRO DE CAMPO	57
ANEXO B. DESCRIPCIÓN DE LA FORMACIÓN GEOLÓGICA	58
ANEXO C. TABLA DE COLORES DEL ALUVIÓN DEL VALLE DEL RÍO NECHÍ.	59
ANEXO D. PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL AREA DE EXPLOTACIÓN	60
ANEXO E. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DEL AREA DE EXPLOTACIÓN ...	61
ANEXO F. PERFILES GENERALES DEL ALUVIÓN	62
ANEXO G. MAPA GEOMORFOLÓGICO TOMADO DE GÓMEZ <i>ET AL.</i>, (1999).	63

RESUMEN

TITULO: ARMADO DE BLOQUES EXPLOTABLES Y CÁLCULO DE RESERVAS DE LAS UNIDADES ALUVIALES, RÍO NECHÍ (MINAS SANTA PAULA 7 Y 8). *

AUTOR: DANIEL DIAZ IBARRA **

PALABRAS CLAVES: Placer, Oro aluvial, Río Nechí, Exploración, Reserva.

CONTENIDO: El distrito minero Bagre-Nechí es conocido históricamente por las explotaciones de oro en depósitos de placer asociados a terrazas y aluviones del Neógeno, generados por el río Nechí. La operación de Mineros S.A. está localizada al noroeste del departamento de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de El Bagre, Zaragoza, Caucasia y Nechí. Existen algunas investigaciones iniciales de la zona, las cuales permiten tener un previo conocimiento del marco geológico regional.

La idea de un estudio de esta índole, surge de la necesidad de métodos más eficientes que permitan mejorar el grado de certidumbre en los procesos de exploración y recuperación de oro en el aluvión del río Nechí. La presente investigación pretende sumar información que permita entender con mayor claridad el depósito aluvial, utilizando la relación entre la granulometría, los minerales contenidos en las arenas negras y los tenores de oro en la zona de estudio, así la empresa Mineros SA podrá contar con información más detallada que permita optimizar los procesos de exploración y explotación del depósito aluvial.

Este informe documenta las características geológicas del yacimiento aluvial del río Nechí, además las actividades desarrolladas como practicante en la compañía Mineros S.A. las cuales a grosso modo comprenden la participación en fase de planeación de la exploración, obtención y procesamiento de muestras de campo, armado de bloques económicamente explotables y cálculo de reservas.

* Proyecto de Grado

** Facultad Físicoquímica. Escuela de Geología. Director Luis Enrique Cruz Guevara.
Codirector Ana María Correa Martínez.

ABSTRACT

TITLE: ASSEMBLY OF EXPLOITABLE BLOCKS AND CALCULATING RESERVES OF ALLUVIAL UNITS, RIVER NECHÍ (MINES SANTA PAULA 7 AND 8).*

AUTHOR: DANIEL DIAZ IBARRA **

KEYWORDS: Placer, Alluvial gold, Nechí River, Exploration, Reserve.

CONTENT: The mining district Bagre-Nechi is historically known for the exploitation of gold placer deposits associated to terraces and alluviums of the Neogene, generated by the river Nechí. The operation of Mineros S.A. is located northwest of the department of Antioquia, in the jurisdiction of the municipalities of El Bagre, Zaragoza, Caucasia and Nechí. There is some initial research in the area, which allow prior understanding of the regional geological framework.

The idea of a study of this nature arises from the need for more efficient methods to improve the degree of certainty in the processes of exploration and recovery of gold in the alluvium of the river Nechí. This research aims to add information to understand more clearly the placer, using the relationship between particle size, mineral content in the black sands and gold tenor in the study area, so that Mineros S.A. can have more detailed information about processes that will help optimize exploration and exploitation of the alluvial deposit.

This report documents the geological features of the river Nechí's alluvial deposit, also my role as an intern at Mineros S.A. which includes work in the planning stages of exploration, extraction and processing of field samples, as well as assembling blocks and calculation of economically exploitable reserves.

* Graduation Project

** Faculty of Physical Chemistry. School of Geology. Director Luis Enrique Cruz Guevara.
Co-Director Ana María Correa Martínez.

INTRODUCCIÓN

La exploración en la minería es un procedimiento crucial que define el futuro de una compañía, pero ésta en sí conlleva una serie de etapas y procesos, para este caso básicamente se busca comprender la naturaleza de un yacimiento aluvial, mediante la obtención de muestras en campo, las cuales son de suma importancia para definir los resultados del proceso, estos resultados de manera lógica permiten comprender dónde y cómo se encuentra depositado el oro, información vital a la hora de intentar optimizar la explotación del yacimiento. El éxito de una empresa minera está definido en gran medida por sus reservas, estas son determinantes a la hora de trazar los objetivos venideros de la compañía, de ahí la gran importancia que implica poseer un pleno conocimiento del depósito, paso fundamental para intentar optimizar todos los procesos para explotarlo.

En todo el valle del río Nechí existen numerosos indicios de oro aluvial, la mayoría de ellos tuvieron una explotación exhaustiva a lo largo de los años, llevada a cabo por mineros ilegales y nativos de la zona, sin embargo Mineros S.A. cuenta con licencias de exploración y explotación en zonas que se podrían considerar terreno virgen, estas áreas son de suma importancia ya que en ellas se generan las reservas de la compañía.

OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización granulométrica, determinación de los tenores de Au, así como también elaborar un armado de bloques explotables y calcular las reservas, según los métodos empleados por Mineros S.A., sobre el área comprendida por las minas Santa Paula 7 y Santa Paula 8 en el depósito aluvial del río Nechí.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Asesorar a los supervisores de taladros en la descripción litológica de los logs de perforación.
- Realizar una caracterización granulométrica de las litologías presentes en los bloques.
- Construir secciones estratigráficas que incluyan la distribución vertical de los tenores de Au y correlacionarlas.
- Realizar el cálculo de reservas, y armar bloques explotables según los resultados obtenidos de la exploración.

INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

1. MINEROS S.A.

La compañía Mineros S.A. es un Grupo Empresarial privado, 100% colombiano con más de 35 años de experiencia, dedicado a la exploración y explotación de metales preciosos, especialmente oro. Las operaciones de Mineros S.A. comprenden dos frentes, el aluvial y subterráneo, en los municipios de El Bagre, Zaragoza y Nechí, Bajo Cauca Antioqueño (Colombia), con una producción anual de 120 mil onzas de oro aproximadamente. El soporte corporativo administrativo se encuentra en la ciudad de Medellín. El mayor accionista es el Grupo Colpatria, así como la Corporación Financiera Colombiana y grupos que poseen, cada uno entre el 3% y el 4% de la propiedad total de las acciones.

1.1 Misión

MINEROS S.A. es una empresa privada, dedicada a la minería de oro y metales asociados, orientada a generar el mayor valor a sus accionistas con el crecimiento de sus operaciones mineras por medio de un excelente Sistema de Gestión Integral y enmarcado en la responsabilidad social empresarial.

1.2 Visión

En el año 2020, el Grupo Empresarial MINEROS S.A. será reconocido por el crecimiento rentable de su producción y su buena gestión ambiental, humana y social.

1.3 Sistema de Gestión Integral

Mineros S.A. cuenta con un sistema de Gestión Integral que constituye el conjunto de elementos (estructura de la organización, responsabilidades, procesos, proyectos, recursos y procedimientos) interrelacionados, que se establecen dentro de la Organización para alcanzar los objetivos propuestos.

1.4 Política de Gestión Integral

“Exploramos y explotamos yacimientos de oro y metales asociados a costos competitivos, aprovechando racionalmente los recursos minerales, maximizando el rendimiento económico y la permanencia de la operación minera, con proveedores confiables y un talento humano motivado, altamente calificado y enfocado en la satisfacción del cliente interno, previniendo y controlando los riesgos para los trabajadores, las instalaciones y el medio ambiente, promoviendo el desarrollo social de las comunidades vecinas, cumpliendo los requisitos legales y manteniendo un proceso de mejoramiento continuo”.

1.5 Valores corporativos

Institucionalmente Mineros S.A. se rige por unos valores que representan sus principios éticos.

1. **Unidad Familiar:** Es entender que la célula fundamental de la sociedad es la familia y que debe preservarse sana, unida y en armonía.
2. **Lealtad:** Es honrar la confianza recibida; es no defraudar a quienes han depositado su confianza en nosotros.
3. **Autocuidado:** Desarrollar en las personas la responsabilidad para consigo mismas y su integridad física.
4. **Responsabilidad:** Es cumplir todo lo que una persona libremente se comprometió a hacer con los demás y consigo mismo (autocontrol).
5. **Consideración:** Entendido como el reconocimiento y la atención que merecen las personas. Este valor contiene otros valores y actitudes como el orden, el aseo, la organización, la puntualidad y la planificación, entre otros.
6. **Transparencia:** Que no haya discrepancia entre lo que se dice y lo que se hace o práctica, enfocado en actitudes de honradez y rectitud.
7. **Conciencia ambiental:** Es entender la necesidad de aprovechar los recursos naturales racionalmente, y hacerlo.
8. **Creatividad:** Capacidad de idear soluciones originales para los problemas, y en términos efectivos mejorar lo existente.
9. **Trabajo en equipo:** Es la actitud que nos lleva a comprender que nuestro trabajo es influido y puede influir en el trabajo de los demás, sin perder de vista los objetivos estratégicos de la Empresa, y la voluntad de ayudarlo a los demás.
10. **Mejoramiento continuo:** Es estar convencido de que lo que se haga hoy se puede mejorar hacia el futuro y, además, tratar de obtenerlo.
11. **Patriotismo:** Procura cultivar el respeto y amor que debemos a la patria, mediante nuestro trabajo honesto y la contribución personal al bienestar común.
12. **Comunicación:** Nos ayuda a intercambiar de forma efectiva pensamientos, ideas y sentimientos con las personas que nos rodean, en un ambiente de cordialidad y buscando el enriquecimiento personal de ambas partes. Entender y hacerse comprender es un arte que facilita la convivencia y la armonía en todo lugar.

1.6 Premios y reconocimientos

Mineros S.A. realiza sus operaciones bajo los más estrictos índices de calidad, gestión ambiental, acompañamiento social y respeto por los recursos naturales. Prueba de ello son los reconocimientos que han sido otorgados por diferentes instituciones en el país.

- Premio Responsabilidad Ambiental 2011: La Fundación Siembra Colombia entregó a Mineros S.A. el Premio Responsabilidad Ambiental 2011 categoría Plata en Responsabilidad Ambiental en Investigaciones y Proyectos, por su programa “Parcelas Agroforestales: semillas de desarrollo local en los municipios de El Bagre y Zaragoza, Antioquia”, una idea que se ha convertido en modelo de desarrollo agropecuario a nivel nacional gracias los excelentes resultados arrojados desde el comienzo de su implementación.
- Premio a la Minería Responsable, Gobernación de Antioquia, 2011: La Secretaría de Minas de la Gobernación de Antioquia y la Corporación Calidad, otorgaron dicho galardón a MINEROS S.A. por el alto nivel de desempeño en su gestión y operación diaria, así como por sus procesos de minería responsable, con un enfoque global en el que fueron evaluados aspectos éticos, ambientales, comunitarios y laborales promovidos por la Compañía.
- Premio Responsabilidad Ambiental 2010: La Fundación Siembra Colombia y la Embajada Británica otorgaron a MINEROS S.A. el premio Responsabilidad Ambiental 2010, en la categoría Responsabilidad Ambiental en Recuperación, por el proyecto “MINEROS S.A., un modelo de responsabilidad social en minería, con énfasis en la recuperación y compensación ambiental”.
- Distinción Vida Corantioquia 2010: La Corporación Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA, otorgó el Premio Vida 2010 por la labor de la Compañía en el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones donde se llevan a cabo actividades de exploración y explotación de oro.
- Premio Los Mejores en Agricultura: Reconocimiento otorgado a MINEROS S.A. en el marco de la Feria EXPOFINCA 2010, por el programa “Negocios Ambientales y Plantaciones de Caucho”.
- Premio OLAMI: MINEROS S.A. obtuvo el premio Olami de ecología y ambiente Gildo Sá de Albuquerque en la categoría mediana y pequeña minería, por su programa “La responsabilidad social, un compromiso con el desarrollo local”.
- Premio de autogestión: En julio de 2006, el jurado del premio Codesarrollo a la autogestión exaltó a MINEROS S.A. por la ejecución de los programas ambientales y sociales destinados a la recuperación ambiental del territorio, el mejoramiento de las condiciones económicas y la calidad de vida de los empleados y de las comunidades vecinas.
- Premio Vida 2005: El 29 de noviembre de 2005, postulado por Sintramineros, la Empresa recibió el Premio Vida en la categoría empresarial por su proyecto de gestión ambiental “Propuestas y resultados de un compromiso”.

➤ Premio ambiental: El Instituto Eutectic - Castolin de Lausana, Suiza, otorgó a Mineros de Antioquia el premio internacional “El conservacionista del año 1991” por su desarrollo tecnológico y su protección del medio ambiente.

1.7 Operación aluvial

De los depósitos auríferos existentes, los aluviales se consideran como el tipo de yacimientos más explotados a través de toda la historia. En Colombia, han existido varios yacimientos que se han explotado desde principios del siglo XX, dentro de los cuales el depósito aluvial localizado en el valle del Río Nechí es el más importante, ubicado en el Bajo Cauca antioqueño, precisamente donde Mineros S.A. realiza sus operaciones.

¿Cómo se realiza?

El sistema de explotación más adecuado para la extracción de oro de aluviones profundos es por medio de dragas de cucharas, siguiendo el método de corte y relleno. El beneficio del oro se da por medio de concentración gravimétrica a bordo de draga, con una recuperación ambiental constante, que involucra procesos productivos en conjunto con la comunidad local.

La operación aluvial en Mineros S.A. se realiza mediante una unidad de producción, la cual está constituida por: una draga de cucharas, una draga de succión, una maquina anfibia y un bulldozer. La máquina anfibia realiza labores de rocería retirando la capa vegetal, luego la draga de succión se encarga de retirar el nivel estéril que generalmente consiste en el descapote de la capa vegetal faltante y los 10 primeros metros de material, luego se realiza el proceso de beneficio con la draga de cucharas, ésta extrae el material aproximadamente entre los 10 y 27 metros de profundidad (estratos donde normalmente se encuentra el oro) y luego el bulldozer realiza un perfilamiento del material residuo de todo el proceso para iniciar labores de recuperación ambiental.

En forma esquemática se tiene:

1. Maquina anfibia: Se encarga de remover la capa vegetal superficial y las raíces para facilitar la operación de la draga de succión (Figura 1).



Figura 1. Maquina anfibia Mineros S.A.

2. Draga de succión:

Extrae el suelo (capa vegetal) de los primeros 10 metros de profundidad del río, y lo bombea para formar rellenos hidráulicos. Normalmente esta primera extracción no contiene oro (Figura 2).



Figura 2. Draga de succión Mineros S.A

3. Draga de cucharas:

Realiza el proceso de extracción gravas, arcillas y arenas con contenidos de oro, a partir de los 10 metros de profundidad, hasta los 27 metros aproximadamente. Forma cargueros con el material no aprovechable (Figura 3).



Figura 3. Draga de cucharas Mineros S.A

4. Bulldozer:

Perfila los cargueros (remanentes de las operaciones de dragado) para iniciar el proceso de reforestación (bosques o parcelas) y de conformación del humedal (Figura 4).



Figura 4. Bulldozer

5. Sistema satelital:

Envía la información necesaria para ubicar las dragas en posición y dirección determinada en su operación continua, garantizando la mayor eficiencia en el dragado.

MARCO TEÓRICO

2. GEOLOGÍA

En el marco histórico no existen estudios geológicos detallados de la cuenca del río Nechí; los trabajos existentes son estudios regionales del departamento de Antioquia, realizados por el Servicio Geológico Nacional (Alvarado *et al.*, 1940a, b, c; Botero, R., G., 1940; Royo y Gómez, 1940; Sarmiento, 1951; Alvarado & Sarmiento, 1943) y los del mapa geológico del Departamento de Antioquia INGEOMINAS (González, H. 2001) en los cuales se presenta de manera generalizada las principales unidades litológicas. Trabajos más detallados de la geología de la parte norte del departamento de Antioquia, sin incluir la cuenca baja del río Nechí (zona de estudio del presente trabajo), se remontan a los desarrollados por el Inventario Minero Nacional realizados por Hall (1971 & 1972), Feininger *et al.* (1972), Feininger (1970) y los mapas de los cuadrángulos H-7 y H-8 Yarumal – Ituango, Barrero *et al.* (1969), entre otros. Estudios geológicos relacionados con la serranía de San Lucas, margen oriental del valle del río Nechí, han sido adelantados por INGEOMINAS (Kassem & Arango, 1979) y Bogotá y Aluja (1981).

En la parte norte del departamento de Antioquia, límite con los departamentos de Córdoba y Bolívar, afloran rocas cuyas edades varían desde el Precámbrico hasta el Cuaternario y comprenden rocas metamórficas del Precámbrico y del Paleozoico, rocas Ígneas del Triásico - Jurásico y rocas sedimentarias del Jurásico, Cretácico, Terciario y Cuaternario.

El valle aluvial del río Nechí limita al oriente con las laderas de la Serranía de San Lucas y al occidente con afloramientos de rocas terciarias, que llegan hasta el valle aluvial del río Cauca.

El análisis fotogeológico, en especial con relación a los límites del valle aluvial, muestra lineamientos muy marcados, que parecen corresponder con fallas geológicas de tipo regional o local, definidas parcialmente al sur del área en los trabajos regionales del inventario minero, las cuales parecen estar relacionadas con el depósito de los sedimentos aluviales auríferos cuaternarios; de igual manera controlan el límite de la llanura aluvial y parcialmente el comportamiento del cauce del río Nechí, generando cambios en su comportamiento dinámico. El control litológico de la margen oriental son las rocas ígneas y metamórficas, en tanto que las rocas terciarias sin identificar, controlan el valle en la margen occidental.

2. 1 Geología regional

La región nordeste de Antioquia se encuentra conformada por rocas de edades Proterozoicas, Paleozoicas, Mesozoicas hasta Cuaternarias y está dividida por una serie de fallas importantes pertenecientes al sistema Palestina-Bagre-Nus-y Otú-Pericos.

La información sobre geología regional fue tomada del mapa geológico del Departamento de Antioquia a escala 1:400.000 (ver figura 5) realizado por INGEOMINAS (González, 1999) y su respectiva memoria explicativa (González, 2001).

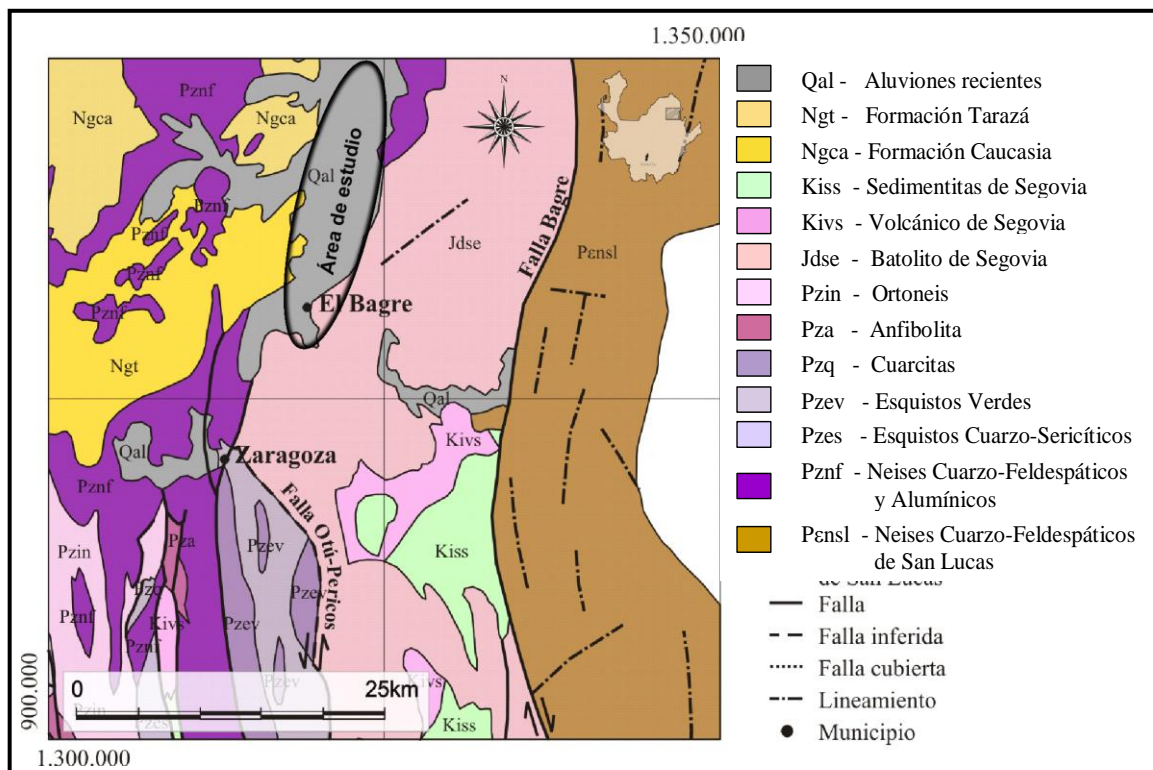


Figura 5. Mapa geológico regional (modificado de González, 1999).

2.1.1 LITOLOGÍA

Precámbrico

Neises Cuarzo-Feldespáticos de San Lucas (Pensl) : La unidad ocurre en un cuerpo alargado de 50 km de longitud al oriente de la Falla Otú-Pericos y su mayor extensión se encuentra al este de la Falla El Bagre. Consiste de neises cuarzo-

feldespáticos y en menor proporción de lentes de anfibolita y mármol. Estas rocas posiblemente se formaron durante metamorfismo en la facies granulita.

La unidad ha sido correlacionada con las granulitas de la Sierra Nevada de Santa Marta, cuya edad de metamorfismo varía entre 1300 ± 100 y 752 ± 70 Ma (Tschanz et al., 1974).

Paleozoico

Complejo Cajamarca (Pzmf, Pzes, Pzev y Pzq): La mayor parte de las rocas consideradas paleozoicas que ocurren en la región corresponden a metamorfitas denominadas inicialmente por Feininger et al. (1972) como “rocas metamórficas del flanco este de la Cordillera Central” y posteriormente agrupadas en el Complejo Cajamarca en el sentido de Maya y González (1995). Casi todas las unidades afloran al oeste de la Falla Otú-Pericos y las principales que ocurren en la región son: Neises Cuarzo-Feldespáticos y Alumínicos (Pzmf), Esquistos Cuarzo-Sericíticos (Pzes), Esquistos verdes (Pzev) y Cuarcitas (Pzq).

Los neises feldespáticos y alumínicos ocurren en cuerpos extensos alargados y lenticulares de dirección norte-sur. Los esquistos verdes están en contacto fallado con los neises y en contacto normal con la unidad de cuarcitas. Las cuarcitas presentan intercalaciones menores de esquistos micáceos. Tanto los esquistos verdes como las cuarcitas están intruídas localmente por el Batolito de Segovia.

Los protolitos de las unidades dominantes fueron materiales cuarzosos y pelíticos. Las rocas tienen paragénesis metamórficas desde esquistos verde hasta anfibolita alta y posiblemente fueron sometidas a varios eventos metamórficos, al menos dos de ellos durante el Paleozoico.

Ortoneis (Pzin): Esta unidad aflora en cuerpos alargados norte-sur al occidente del municipio de Zaragoza a la altura de las veredas San Juan de Popales y El Tigre Uno. Corresponde a los Neises Intrusivos según varios autores (Feininger et al., 1972; González, 1976, 1980). Tiene composición variable entre diorita cuarzosa - monzonita cuarzosa y granito. Preserva estructuras del protolito ígneo y exhibe efectos dinámicos producidos posiblemente durante la intrusión sintectónica.

La edad del ortoneis en la región no se ha determinado, pero por correlación con cuerpos similares de otras partes de la cordillera, algunos autores (e.g. Maya,

1992) interpretan que este tipo de intrusiones sintectónicas ocurrieron principalmente durante el Paleozoico tardío y Triásico.

Mesozoico

Batolito de Segovia (Jdse): Cuerpo plutónico alargado en sentido norte-sur que ocurre principalmente al este de la Falla Otú-Pericos con algunos cuerpos satélites al oeste de la misma. Esta unidad fue cartografiada inicialmente por Feininger et al. (1972). En la región la unidad aflora al sur y centro del municipio de Zaragoza.

El cuerpo principal corresponde a una diorita que presenta amplias variaciones composicionales, gradacionales a diorita cuarzosa y localmente a rocas más básicas, tales como gabros hornbléndicos. La edad de este cuerpo es de 160 ± 7 Ma por K/Ar en hornblenda (Feininger et al., 1972). Es de anotar que estas rocas son las encajantes de los filones de cuarzo aurífero que explotan en la zona.

Volcánico de Segovia (Kivs) y Sedimentitas de Segovia (Kiss): La unidad Volcánico de Segovia corresponde a un conjunto de rocas volcánicas en cuerpos alargados al este de la Falla Otú-Pericos, de composición andesítica a dacítica.

Las rocas volcánicas están íntimamente asociadas a una secuencia sedimentaria denominada Sedimentitas de Segovia, constituida por lutitas carbonosas y calcáreas, areniscas conglomeráticas y conglomerados. La secuencia de lutitas carbonosas contiene fósiles del Cretáceo Inferior, Hauteriviano - Aptiano (González, 1992).

El conjunto sedimentario aparentemente reposa sobre el volcánico, por eso se ha asignado una edad Jurásico tardío - Cretáceo temprano a las rocas volcánicas. Por otro lado, la secuencia sedimentaria reposa discordantemente sobre el Batolito de Segovia y evidencia la transgresión marina de comienzos del Cretáceo.

Cenozoico

Formación Caucasia (Ngca): La Formación Caucasia aflora al norte de la Formación Tarazá. Compuesta por conglomerados poco consolidados de guijarros y bloques de rocas metamórficas (granulitos, migmatitas y neises) y de cuarzo lechoso, en una matriz areno-arcillosa. El contacto superior es gradacional con la Formación Tarazá.

2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El borde oriental del valle aluvial del Nechí, coincide geográficamente con la vertiente occidental de la serranía de San Lucas, enmarcada entre el sector de los ríos Cauca y Nechí al oeste y la parte alta de la cadena montañosa al este. Corresponde geológicamente con la faja N-S de las unidades neísicas y esquistosas más antiguas, aflorantes en la serranía, que está caracterizada por un sistema de fallas de dirección conjugada N40°W y N45°E.

El sistema de dirección N-S tiene su mejor representación en el conjunto de fallas de Palestina y fallas satélites asociadas, cuyo juego complejo de rumbo dextralateral, de edad Terciaria, ha modificado y reactivado la tectónica de la serranía (Feininger, 1970).

El sistema de fallas del área occidental es complejo, mostrando juegos diversos representados en las fallas conjugadas N45°E y N40°W, resultantes de una compresión de sentido E-W y el juego de rumbo dextralateral del sistema de Palestina, falla del Bagre y otras menores. Estos movimientos de orientación N-S y de carácter mayor, reactivaron las fracturas de dirección N50-60°E de la zona central de la serranía, que se comportan como fallas siniestrolaterales, reactivando o bien creando, el sistema conjugado N20-30°W de esta misma área.

La cuenca del río Nechí es parte de la gran estructura de la cordillera Central Colombiana y está controlada tectónicamente por dos grandes sistemas de fallas de rumbo, la falla de Palestina y la falla de Otú. Estas fallas han sido cartografiadas por cientos de kilómetros hacia el sur del área y tienen desplazamientos laterales que alcanzan los 28 km, en el caso de la falla de Palestina (Feininger, 1970). Asociados a ellas se define la falla del Bagre, y a partir de la fotointerpretación realizada, se aprecian otros lineamientos no estudiados detalladamente. Es factible que la sedimentación del aluvión del río Nechí esté controlada por estos sistemas de fallas, generando en los bordes de la cuenca una estructura tipo graben.

Falla de Otú-Pericos: Es una falla de rumbo, con dirección al noroccidente, que cruza cerca de Zaragoza y pone en contacto rocas paleozoicas con los sedimentos terciarios, formando un escarpe pronunciado, que parece ser el límite entre la unidad de lomeríos con los sedimentos aluviales del río Nechí, para continuar al norte confundiendo con los sedimentos cuaternarios. Cruza la falla de Palestina en los alrededores de Segovia.

Los rasgos de esta falla son los escarpes en el sector de Angosturas, donde el río es recto, los taludes en las rocas metamórficas en el sector de Naranjal y el talud en los sedimentos terciarios, que a su vez son el lineamiento formado por los

depósitos cuaternarios de terraza con los depósitos del terciario, explotados sobre la margen izquierda desde Cuturú hasta Bijagual. Este lineamiento controla el río Nechí como un cauce unicanal recto.

Falla El Bagre: Cruza a lo largo del río El Bagre, al sur del área de estudio. No se conoce su trazado verdadero, aunque está demarcada como el límite entre las rocas del batolito de Anorí, desde Puerto Claver hacia el norte, hasta hundirse en la llanura aluvial. La fotointerpretación permite ver una serie de lineamientos que pueden corresponder con esta falla, como en el trazo recto, dirección NW del río Nechí desde Cuturú hasta Puerto Gaitán.

2.1.3 GEOMORFOLOGÍA

Fisiografía

La parte alta de la cuenca de los ríos Nechí-Porce y sus afluentes que drenan al valle aluvial, es de topografía montañosa fuertemente disectada, con pendientes que oscilan entre 20° a 40° o más. En las partes altas el relieve excede los mil metros, y específicamente en el valle del río, entre Zaragoza y el río Cauca, alcanza los 400 m sobre el nivel del mar.

La llanura aluvial puede describirse como un nivel plano de gran extensión, asociado con terrenos ligeramente ondulados, conformados por rocas terciarias y sedimentos cuaternarios. En este trayecto, el río drena una amplia zona conformada en su margen occidental por colinas bajas terciarias ubicadas sobre rocas de las estribaciones del piedemonte de la Cordillera Central, donde se encuentra la divisoria de aguas del río Cauca. Por el oriente la mayor parte del área drenada corresponde a la vertiente occidental de la serranía de San Lucas.

Hidrografía

La red fluvial es de tipo dendrítico, bastante densa, así algunos de sus afluentes no aporten caudales muy significativos. Las principales cuencas que la conforman son las de los ríos Amacerí y las quebradas Villa, Santa Isabel y Cuturú; es importante anotar, que el río Tigüí aporta más caudal que el que aportan en forma conjunta los ríos Amacerí y Cacerí, según los aforos realizados por el Centro de Investigaciones Ambientales C.I.A., en 1988.

Los afluentes de la margen oriental, río Amacerí y quebradas Villa y Sta. Isabel, entre otras, presentan pendientes mucho más pronunciadas que los de la margen occidental, por drenar las estribaciones de la serranía, que cierra el valle en la zona del proyecto. El trayecto de la llanura aluvial de inundación es bastante irregular, con numerosos meandros abandonados que hoy se han interpretado como ciénagas o humedales, como las de Pujador, La Llana en cercanías al río Amacerí y la de Sabalito frente a Bijagual, también se presentan varios caños, siendo precisamente el sector más inundable en la red fluvial, debido a las características topográficas más bajas del terreno. Aguas abajo de Cuturú el valle es más regular y más estrecho, y el río corre a través de él con algunos desplazamientos laterales recientes e históricos. La pendiente longitudinal del tramo es relativamente baja, del orden del 0.15% (García & Sánchez 1988).

Unidades Geomorfológicas

Se pueden identificar dos principales unidades de paisaje; el paisaje montañoso de relieve dominante al oriente y el paisaje fluvial, donde predominan los procesos morfodinámicos recientes de dinámica fluvial, sedimentación y erosión.

El río Nechí, es un cauce unicanal sinuoso, que transcurre disectando la planicie sobre la que se desarrolla su valle y los de sus tributarios, caracterizado por haber presentado avulsión en el sector de Río Viejo y en la denominada “Ciénaga de Sabalito”, antiguo meandro del río Nechí. Dentro de las principales formas de acumulación se encuentran las terrazas y los depósitos aluviales recientes, con orillares, barras, y zonas de playas, diques, y depresiones inundables. En sectores aledaños al valle, afloran elementos estables como son las rocas ígneas, y/o metamórficas, (Río Viejo), y sedimentos terciarios,(Bijagual), con cobertura cuaternaria (Anexo G).

Unidad I. Zona Montañosa

Compuesta primordialmente por rocas metamórficas muy antiguas e ígneas. Se localiza en la zona oriental del municipio del Bagre, después de la unidad de

colinas en límites con el departamento de Bolívar, en ella se pueden diferenciar dos unidades:

Montaña Baja: Corresponde a la parte baja de la serranía de San Lucas, presenta un relieve quebrado a muy escarpado, pendientes rectas, largas, ápices agudos, desarrollados en rocas ígneas y metamórficas.

Montaña Alta: Relieve fuertemente quebrado a muy escarpado, desarrollado en rocas metamórficas, neises y esquistos, muestran profundos cañones en forma de V por donde fluyen las quebradas. Esta unidad continúa hacia el norte por la margen derecha del valle, hasta el río Caribona, al norte del área y forma el flanco occidental de la serranía de San Lucas.

Lomeríos: Son pequeñas colinas bajas, redondeadas y muy disectadas, que no sobrepasan la cota de 150 m.s.n.m., ubicadas en la margen izquierda del río Nechí. Se derivan de una estructura sedimentaria sub-horizontal del Terciario, de sedimentos arcillosos, arenosos y conglomeráticos, con aspecto general de periplanicie. Se encuentra cubierta por sedimentos aluviales, cuaternarios, auríferos que en algunos casos cubrieron la paleotopografía sobre el Terciario.

Unidad II. Planicie Aluvial

Esta unidad localizada en la zona occidental y sur del municipio del Bagre, guarda una estrecha relación con la dinámica fluvial del río Nechí y sus afluentes. Está compuesta básicamente por arenas, grava y arcillas, cuenta con pendientes entre 0% y 5%, en terrenos planos, suavemente inclinados.

Dentro de esta unidad es posible identificar unidades menores, entre las que se destacan, diques naturales, Complejo de orillares, bajos, zona de cargueros, vegas aluviales, terrazas cuaternarias, llanuras aluviales de inundación y depresiones inundables.

Diques Naturales: Son fajas relativamente angostas y alargadas que van paralelas a los ríos y caños, están constituidos por arenas, limos y arcillas, la acumulación de los materiales es uniforme, estando los gruesos en la base y los finos en la

superficie. Por ser una unidad alta dentro de la planicie, permanecen inundados menos tiempo que las demás unidades y en consecuencia es aquí donde se presentan la mayoría de los asentamientos dentro de la planicie y donde se da la actividad agrícola, generalmente de subsistencia. En ocasiones los desbordes pueden sobrepasar el dique e inundar las zonas bajas vecinas. Dentro de la planicie se pueden observar algunos diques aislados que corresponden a antiguos cursos que el río abandonó.

Complejo de Orillares: Áreas compuestas por pequeñas islas, orillares, cauces abandonados y antiguos diques que no pueden separarse independientemente, donde los ríos con sus continuas crecientes y cambios de curso, han depositado generalmente arcillas, limos y arenas finas. Esta unidad se localiza en diversos sectores de la llanura aluvial, asociado a zonas donde el río deposita o crea nuevas barras.

Bajos o Basines: Son superficies plano-cóncavas, ubicadas en las zonas más bajas de la llanura aluvial, separadas del río por los diques y orillares, allí se han depositado materiales finos, arcillas y limos. Estas zonas permanecen inundadas por periodos largos, generalmente mayores a cuatro meses al año.

Zona de Cargueros: Es una geoforma de origen antrópico, que genera grandes cambios debido a la explotación minera en la llanura aluvial y que conduce finalmente a la configuración de esta geoforma. Esta zona se encuentra constituida, como su nombre lo indica, por cargueros los cuales son los remanentes de las operaciones de dragado en las diferentes zonas profundas del aluvión, los cuales son montículos longitudinales de altura variable entre 5 y 6 metros, por encima de la llanura lo que lógicamente imprime un cambio en la dinámica aluvial; no son zonas aptas para la ubicación de viviendas, ni de infraestructuras y están constituidos por materiales gruesos.

Vega Aluvial: Dentro de esta unidad se encuentran las superficies formadas sobre la planicie, constituidas por sedimentos finos, depositados por el río y retrabajados por él mismo a lo largo del cauce. Estas planicies se han generado detrás de

diques naturales y/o artificiales en las épocas de crecida, a través de las zonas de chorro o descargas, donde hay desbordes que a su vez alimentan las depresiones inundables y/o ciénagas y lagunas. Las principales geoformas en la unidad aluvial del río Nechí son:

Terrazas Cuaternarias: Son planicies aluviales disectadas y abandonadas por el río, relativamente bien drenadas, que eventualmente pueden ser inundadas de nuevo. Están constituidas por el escarpe o talud y por planicies escalonadas sobre el escarpe. Se pueden diferenciar tres niveles, aunque la diferenciación entre terrazas cuaternarias y depósitos terciarios no es muy clara, ya que deberían ser “Planicies”, en tanto que la interpretación permite apreciar colinas redondeadas, muy disectadas.

Llanura Aluvial de Inundación: Se extiende entre 7 y 8 kilómetros de ancho en la zona de El Bagre-Cuturú, nunca se estrecha a menos de 4 kilómetros. Son las áreas más bajas del aluvión y ocupan una gran extensión dentro del área de estudio. Presentan una composición similar a la de la carga de lecho actual del río. Los sedimentos son disectados durante períodos de relativa estabilidad de la corriente, generándose así una terraza baja por la incisión en el lecho, tanto del río Nechí como el Amacerí.

Aluvión Reciente : Los depósitos aluviales recientes en el área, están relacionados a las geoformas móviles de la zona aluvial, del canal propiamente dicho o el río menor, formando orillares, barras longitudinales y laterales, zonas de playa, con poco desarrollo de barras estabilizadas por vegetación, como se aprecia aguas abajo del Río Viejo y frente a Bijagual.

Depresiones Inundables : Corresponden a zonas pantanosas, anegadizas o lagunas permanentes, geoformas reconocidas actualmente como humedales o ciénagas, originadas por la divagación de los ríos en meandros abandonados, canales o formadas por chorros y descargas fuera del lecho del río principal, debido a roturas en el dique que lo limita. También son zonas bajas o depresiones donde la escasa pendiente y el carácter impermeable de los suelos, hacen que

ocurra una alimentación muy lenta, subsuperficial hacia los cursos de agua. El tramo entre Puerto Claver, Cuturú, Río Viejo y Bijagual, está caracterizado por presentar el mayor número de meandros estrangulados, que aparecen como ciénagas y depresiones inundables entre las que están el Pujador y La llana en cercanías del río Amacerí, y La denominada Ciénaga de Sabalito en La Mesa, las cuales varían porque corresponden a las huellas de la migración lateral de los cauces antiguos de los ríos Amacerí y Nechí. Estas depresiones se alimentan por chorros o desbordes, en épocas de aguas altas y a través de los caños naturales o artificiales que devuelven las aguas al río Amacerí o Nechí, de manera que no se garantiza su permanencia en el tiempo, solamente en función de la existencia de niveles de desborde.

2.2 Yacimiento aurífero del Río Nechí

2.2.1 LOCALIZACIÓN

La información contenida en esta sección, fue obtenida a partir del Plan de Manejo Ambiental de Mineros de Antioquia S.A. (Gómez *et al.*, 1999), el cual fue suministrado por la empresa. La operación de Mineros S.A. está localizada al noroeste del departamento de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de El Bagre, Zaragoza, Caucaasia y Nechí. En la cabecera de la población de El Bagre se encuentran las instalaciones industriales de la empresa y el campamento con viviendas, oficinas y laboratorios.

El sistema de coordenadas de Mineros S.A. en El Bagre, se basa en un origen arbitrario de coordenadas 100.000 m N, 100.000 m E y una elevación de 82,54 m, ubicado en un extremo de la zona industrial, a orillas del río Tigüí. Este punto tiene las siguientes coordenadas IGAC: X= 1.332.300 m, Y=918.810 m, con origen en Bogotá. La elevación corregida sobre el nivel del mar es de 53,53 m. La figura 6 muestra la localización general del proyecto minero, por políticas internas de la empresa no es posible publicar la localización exacta de las minas Santa Paula 7 y Santa Paula 8 (zona específica del estudio).

A continuación, en la tabla No. 1, se indican las distancias por carretera y por el río Nechí, a las ciudades y poblaciones vecinas, como también a algunos sitios de interés. Los tiempos son estimados en vehículo liviano y por vía fluvial en bote con motor fuera de borda de 115 Hp.

TABLA 1. Distancias desde El Bagre a otras poblaciones. (Tomada Gómez *et al.*, 1999).

Lugar	Distancia (km)	Tiempo (horas)
El Bagre	0	0
Zaragoza (fluvial)	17	0.3
Zaragoza (terrestre)	30	1.0
Cuturú (fluvial)	18	0.4
Caucasia (terrestre)	75	2.5
Bijagual (fluvial)	39	0.7
Nechí (fluvial)	69	1.5
Medellín (vía Segovia)	250	12.0
Medellín (vía Caucasia)	300	8.0

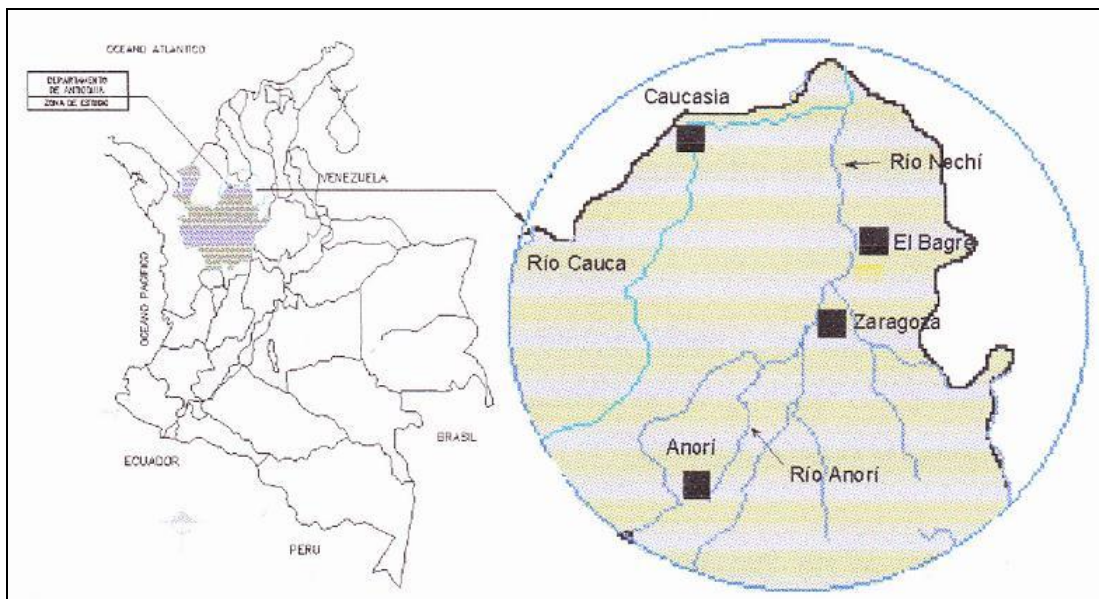


Figura 6. Localización de la zona de estudio. Imagen tomada de Gómez *et al.*, (1999).

2.2.2 GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ

En la cuenca del río Nechí, desde Puerto Claver hasta Río Viejo – Bijagual, se presentan aluviones cuaternarios, poco consolidados, que en la mayoría del área son auríferos. Hay fragmentos de cuarzdioritas, anfibolitas, esquistos sericíticos, cuarzo de filón, andalucitas, cuarcitas, neises cuarzo-feldespáticos y conglomerados con cuarzo blanco. Es común encontrar bloques de arcillolita.

Existen 4 niveles superpuestos, de los cuales se pueden extraer 7 cuerpos de gravas auríferas. La formación más antigua es un esquistos, luego una sucesión de

sedimentos terciarios arcillosos, el pedimento de gravas y finalmente las terrazas. Los depósitos de la llanura de inundación, tienen entre 7 y 8 Km de ancho y nunca se estrechan a menos de 4 Km. Son sedimentos finos y gruesos depositados por el río en sus cauces y áreas aledañas, como respuesta a diferentes regímenes hidráulicos, por acumulación en los lechos principales del río y la de material fino, rellenando el valle hasta sus bordes, que son los taludes de las terrazas altas de materiales terciarios de la unidad geomorfológica de Lomeríos.

A medida que el proceso de acumulación progresó, muchas de las terrazas fueron cubiertas, dando paso a valles más amplios, limitados por terrazas más altas y alimentados por nuevos cauces, mientras los antiguos quedaban también enterrados conformando paleocauces. A partir de este proceso, se pueden extraer tres unidades más de gravas, que corresponden a tres diferentes niveles cronológicos de acumulación, cada uno con sus respectivos canales. Estos canales, formados en tiempos posteriores a la formación de las terrazas, son los Canales basales; los Canales jóvenes y el Canal moderno, que es la última unidad identificada de gravas, está constituido por gravas mucho más pequeñas, con mucho menos oro, lo que demuestra que la competencia actual del río es más baja que la del antiguo.

2.2.3 LITOLOGÍA DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ

El conjunto geológico del valle del río Nechí, formado secuencial y cronológicamente desde el Paleozoico, fue cubierto por material inconsolidado en medio de las inmensas glaciaciones del Pleistoceno, que produjeron grandes depósitos aluviales y que al disminuir los regímenes torrenciales, desarrollaron sedimentaciones de gran extensión, continuidad y homogeneidad, tanto de la secuencia geológica como de los contenidos de oro.

Esta región se caracteriza por la presencia predominante de rocas metamórficas de edad Paleozoica, en una gran formación que aflora desde el sur de El Bagre hasta el sitio Angostura (falla que encañona el río Nechí), donde se profundiza como basamento de rocas sedimentarias más recientes para aflorar de nuevo al norte de Puerto Claver, en la margen oriental del río.

Esta formación se encuentra en contacto fallado con rocas de alto grado de metamorfismo al suroccidente de Zaragoza y con una cuarzodiorita de edad

Mesozoica, que lo atraviesa de sur a norte, desde Remedios hacia Nechí, aflorando en Zaragoza, El Limón, El Carmén, El Bagre y El Real.

El cuerpo sedimentario depositado sobre la formación metamórfica, gracias a una posible inmersión de la zona en el cretáceo, sirve como base de la roca sedimentaria de edad terciaria, conocida como Peña, que es el basamento del aluvión depositado en el valle del río Nechí, en una zona pequeña al sur de Angostura pero muy extensa hacia el norte de este sitio.

El aluvión explotado por Mineros S.A., presenta cuatro formaciones rocosas superpuestas, de las cuales se pueden extraer siete cuerpos compuestos por gravas auríferas. La formación más antigua es un esquisto que aflora como límite en los extremos sur y noreste del aluvión, pero que subyace en el resto de la zona. Le siguen los pedimentos terciarios, conjunto de materiales depositados sobre el esquisto, que están cubiertos por sedimentos cuaternarios y que afloran en el límite noreste del aluvión.

La tercera formación es el sedimento gravoso, una cubierta de sedimentos terciarios ubicada sobre El Bagre y algunas partes del terreno metamórfico aguas arriba, en superficies llanas al pie de formaciones montañosas. La cuarta son las terrazas, superficies abandonadas por la corriente, en las cuales existen depósitos de gravas auríferas distintas a las de los depósitos del lecho del río.

2.2.4 GEOMORFOLOGÍA DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ

En cuanto a los aspectos geomorfológicos relacionados con el valle aluvial, la dinámica fluvial, la geología del subsuelo y su potencial minero, se han desarrollado algunos trabajos según áreas y objetivos específicos. Se puede mencionar por ejemplo, como pionero en la descripción geomorfológica del aluvión, el de Shlemon (1970) y en cuanto a la recuperación de los cargueros, el de Shlemon & Phelps (1971), los de García & Sánchez (1988) que recopila aspectos geológicos y geomorfológicos.

Regionalmente, el aluvión del río Nechí y de su principal afluente el río Porce, se comporta como una unidad muy heterogénea, presentándose desde cañones estrechos y controlados estructuralmente, hasta amplios valles.

Localmente, en el área de estudio, se diferencian en superficie 4 unidades aluviales, la llanura de inundación y 3 niveles de terrazas, diferenciables entre sí por sus alturas respecto al nivel actual del río y por sus columnas estratigráficas. Los 3 niveles de terrazas son auríferos y han sido explotados en la región.

La intensa dinámica fluvial del río Nechí se manifiesta en los numerosos cambios de posición y tamaño que sufren las geoformas fluviales presentes; el análisis de

dichos cambios permite deducir una tendencia general de desplazamiento lateral del río Nechí hacia el Este. El análisis de cientos de registros de perforaciones realizadas en la llanura aluvial y terrazas adyacentes, permitió identificar 4 unidades aluviales profundas, son ellas las terrazas sumergidas y 3 paleozonas de influencia (Figura 7), tomando estas zonas como base y utilizando los criterios disponibles de profundidad del basamento y tenores de oro, se delimitaron dos paleocauces denominados Basal e Intermedio, ambos niveles son auríferos, encontrándose las mayores concentraciones de oro en el nivel Basal, así mismo las terrazas sumergidas poseen contenidos importantes del preciado mineral.

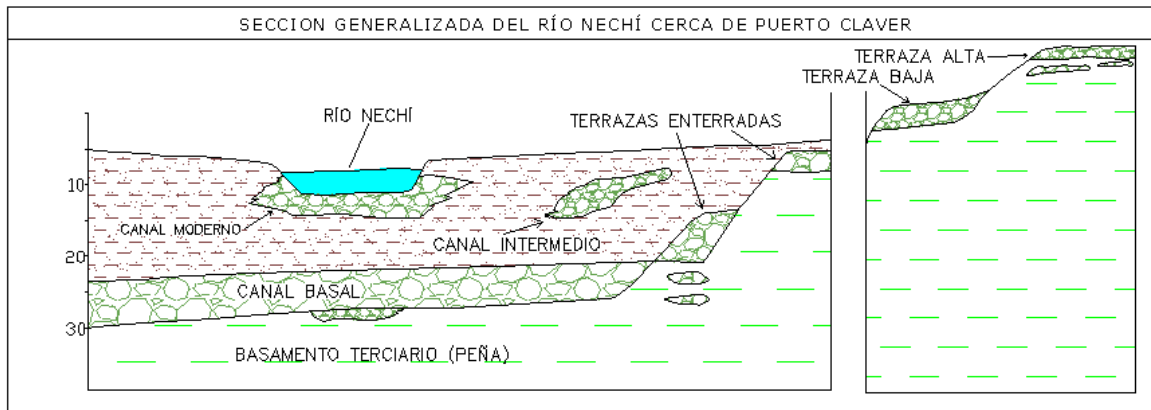


Figura 7. Geología tomada de Shlemon (1970).

2.2.5 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS Y ESTRATIGRÁFICAS DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ

El valle del río Nechí presenta un ancho entre 4 y 8 kilómetros. El río ha depositado gravas con oro en los lechos principales y material fino en las zonas aledañas, hasta llegar a las paredes del valle, donde formó terrazas. A medida que el proceso de acumulación progresó, muchas de esas terrazas fueron cubiertas y absorbidas, para darle mayor amplitud al valle y formar nuevos cauces, de manera que los cauces antiguos quedaban enterrados a manera de paleocauces. A partir de esto, se pueden extraer tres unidades que corresponden a tres diferentes niveles cronológicos de acumulación de sedimentos.

El yacimiento aluvial del río Nechí presenta en su parte superior un nivel denominado la sobrecarga estéril, un nivel intermedio denominado el nivel de gravas del río Nechí, el cual en algunas áreas del yacimiento cambia lateralmente a areniscas, y finalmente infrayaciendo todo el yacimiento, aparece el basamento.

El nivel de sobrecarga estéril está conformado por capas intercaladas de materiales finos, principalmente limos y arcillas, de textura suave y pegajosa con

colores pardos y grises. Su espesor oscila entre los 6 y 16 metros en diferentes partes del aluvión.

El nivel de gravas del río Nechí, las cuales son primordialmente el objetivo exploratorio, son en general monolíticas, de composición metamórfica y de cuarzo lechoso, redondeados a subredondeados, con matriz arenosa. Hay fragmentos de cuarzdioritas, anfibolitas, esquistos sericíticos, cuarzo de filón, andalucitas, cuarcitas, gneises cuarzofeldespáticos y conglomerados con cuarzo blanco. Se encuentran localizados a lo largo de la mayor parte de la llanura de inundación del río Nechí y sus características son representativas de las áreas fuente aportantes.

De acuerdo a observaciones en las dragas de cucharas y cargueros en los sitios actuales de explotación de la compañía se puede observar claramente que los diámetros de las gravas están entre 2 ½” y 3”, con buen calibrado, 4 ½”*2 ½” (alargadas) con pobre calibrado, gravas tamaño mediano generalmente subangulosas y gravas finas redondeadas, el grado de esfericidad es en general regular a bueno. En la tabla 2 podemos observar la clasificación según el tamaño de partículas utilizada por Mineros S.A.

Tabla 2. Tabla de tamaño de grano utilizada por Mineros S.A.

Gravas finas:	Gravas cuyos diámetros varían en tamaño de 1 a 3 cm. distribuidas caóticamente en una matriz arenosa, de color blanco grisáceo. Las gravas de composición esencialmente cuarzosa, son subredondeadas y se encuentran en proporciones variables, con respecto a la matriz que las envuelve, el grado de esfericidad es en general regular a bueno.
Gravas Medianas	Gravas cuyos diámetros varían en tamaño de 3 a 8 cm.
Gravas Gruesas	Gravas cuyos diámetros superiores a 8cm.
Arenas	Conjunto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros (mm).
Basamento o Peña	El Basamento o Peña está constituido por una arcilla masiva, compacta de color azuloso.

2.2.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ

Fallas de rumbo como Palestina, Otú y El Bagre, figuran entre las más notables estructuras geológicas reconocidas en ésta región. La más importante es la de Otú, que controla el curso del río Nechí en varios tramos, lo que afectó considerablemente el comportamiento del mismo y por consiguiente su trabajo de construcción del aluvión.

Es importante señalar que la distribución estructural del esquisto que limita al aluvión en su parte noroeste, es presentada por una tendencia de buzamiento al oeste, que ha favorecido la ampliación del valle y la formación de terrazas hacia la parte oeste del aluvión, lo que significa que los niveles de depositación modernos, tienden a ser más amplios que los de la superficie basal, la cual estaba confinada por terrazas más bajas que las actuales.

2.2.7 GÉNESIS DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ

Una vez depositados los sedimentos terciarios sobre una cuenca natural en la roca metamórfica, comenzó un periodo de extremada actividad morfogénica, impulsada por las variaciones climáticas del cuaternario, tales como las glaciaciones o por el efecto directo del tectonismo; factores que individualmente o en conjunto, provocaron que el río cortara el valle, formado por sedimentos terciarios sobre el cual corría y se profundizaba erosionando el lecho y las paredes del cauce, buscando un nuevo nivel de equilibrio, definido por un nivel del mar más bajo o por la tendencia natural de suavizar la pendiente de su curso.

Las superficies que fueron quedando más altas en el curso del río, se constituyeron en terrazas, sobre las cuales quedaron antiguas capas de material erosionado, tales como las gravas del piedemonte. Ocasionalmente el río en su evolución, alcanzó a depositar materiales gravosos a manera de diques naturales, sobre esas superficies más elevadas, formando terrazas llanas. Según lo anterior, las terrazas más antiguas son las más altas y la sucesión vertical de las mismas fue sirviendo como pared a las nuevas llanuras de inundación.

Cuando el río alcanzó su mayor grado de profundización, respecto al nivel inicial, seguramente era de carácter trenzado, pues alcanzó un lecho mayor de unos tres kilómetros, y gracias a su alta competencia, depositó en el lecho una capa más o menos uniforme de material gravoso muy aurífero, limitada en sus extremos por las terrazas más jóvenes. (Esta capa se conoce como nivel basal). En la acumulación de éste cuerpo, fue fundamental el control estructural efectuado al régimen hidráulico del río, en el sitio denominado La Angostura, el cual funcionó

como una represa restándole velocidad a la corriente, facilitando la sedimentación de las partículas de oro.

2.2.8 DINAMICA FLUVIAL DEL RÍO NECHÍ EN EL SECTOR DE LA EXPLOTACIÓN

Las corrientes que fluyen por el cauce del río, realizan trayectorias curvas formando meandros, en este proceso de formación, las corrientes erosionan el lado externo del meandro donde la velocidad y la turbulencia son mayores (Figura 8), en la mayoría de los casos el lado externo del meandro es socavado formando una zona de erosión activa, la mayor parte del material erosionado se desplaza corriente abajo y se deposita como "Point Bars" en zonas de menor velocidad en el centro de los meandros (Figura 10).

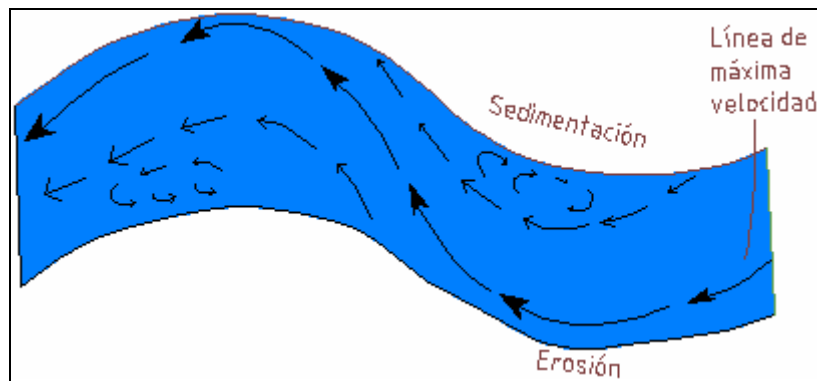


Figura 8. Dinámica de las corrientes, erosión y sedimentación de material (Donald J. 1994).

Gradualmente la acumulación de sedimento en la parte interna del meandro aumenta, mientras que la parte externa es erosionada, desencadenando un estrechamiento hasta formar un cuello, cuando están muy próximos, el río puede erosionar el estrecho cuello realizando un estrangulamiento, con lo que se origina un meandro abandonado.

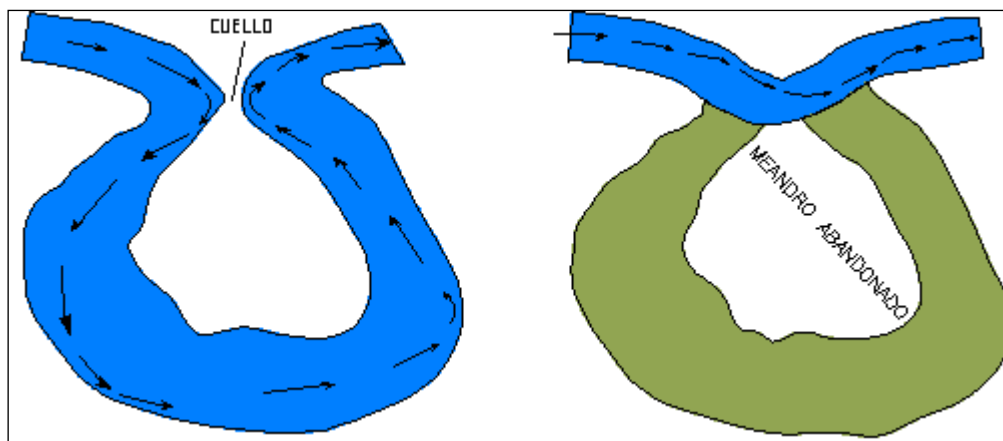


Figura 9. Formación de meandro abandonado (Donald J. 1994).

Cuando la corriente de agua realiza un estrangulamiento, el meandro abandonado continúa con niveles freáticos altos, formando un lago de media luna (Figura 9). Sin embargo puede suceder que después de cierto periodo, el lago de media luna, se llene de sedimento para formar una marca de meandro, estas zonas son particularmente interesantes, ya que en ellas se superponen el canal moderno con el canal basal y en ocasiones se pueden presentar combinaciones entre los canales Moderno, Intermedio y Basal, esta superposición de canales de deposición representa altos tenores de oro.

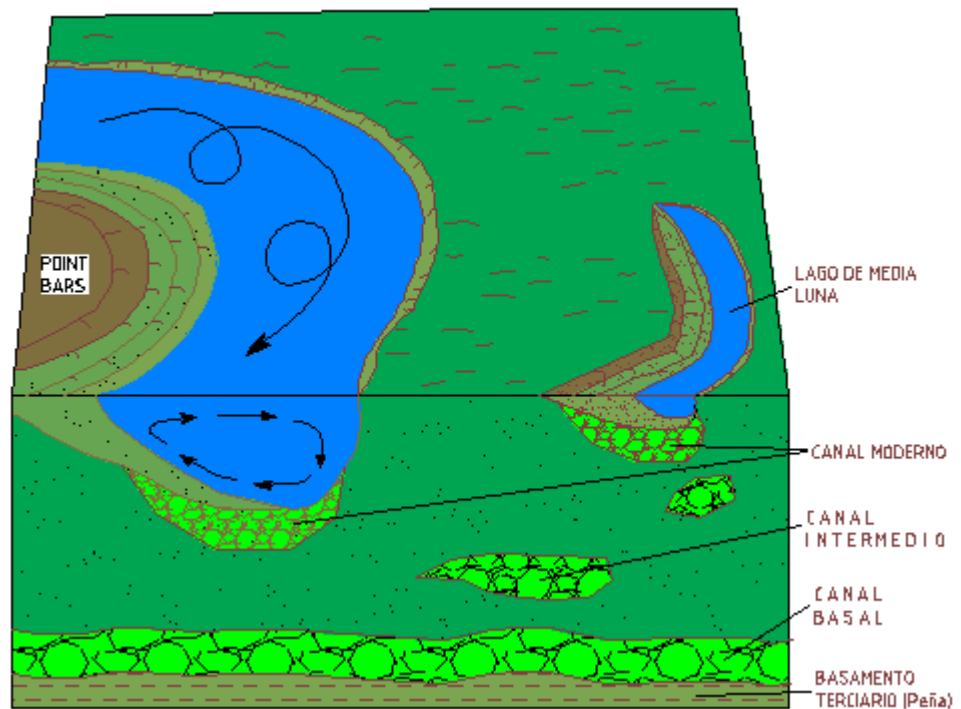


Figura 10. Flujo y formación de meandros y lagos de media luna.

Las normas ambientales que regulan la explotación de aluviones en Colombia, estipulan que está prohibido dragar sobre el cauce actual del río, es entonces cuando los lagos de media luna, las marcas de meandros y los “Point Bars” se consideran la única forma posible de aprovechar el oro depositado recientemente.

Teniendo el conocimiento previo de los conceptos aquí citados podemos proceder a realizar un análisis detallado de la información disponible.

El cauce del río Nechí y el de sus afluentes en la zona de explotación, se aprecian en la figura 11; está caracterizado por un patrón de drenaje de tipo unicanal

sinuoso a meándrico. Se muestran los diferentes alineamientos del río de acuerdo con la restitución de las fotografías aéreas históricas de la zona.

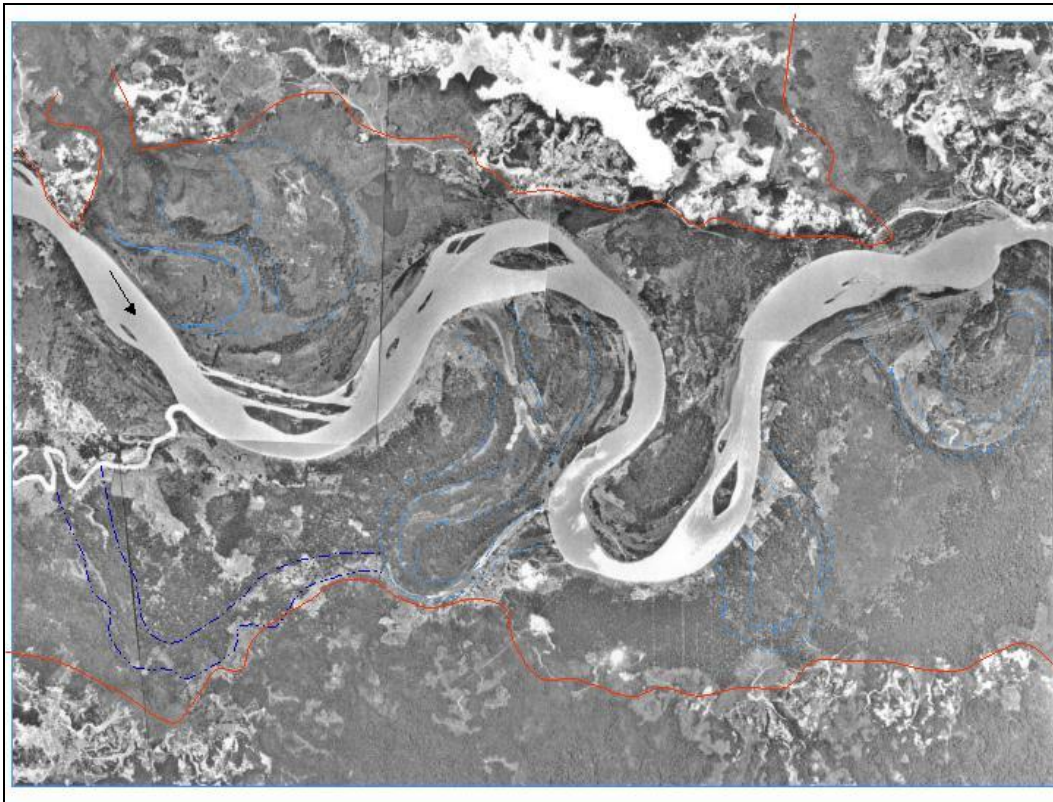


Figura 11. Foto mosaico (vuelo C-2580-1996) Mineros S.A., donde se aprecian en azul los paleocanales del río Amacerí y del río Nechí, la zona del meandro de El Bledo o río Viejo. En color rojo se delimitan los límites de la llanura aluvial de divagación del río, limitada por rocas terciarias en la parte alta o margen izquierda, y por rocas metamórficas e ígneas en la margen derecha al sur.

El yacimiento aluvial del río Nechí es un yacimiento de origen secundario, cuyos principales aportadores son fuentes residuales como el batolito antioqueño, el batolito de Segovia, intrusivos de la Serranía de San Lucas y rocas metamórficas adyacentes. La diferencia principal a lo largo del aluvión radica en el tamaño de las partículas de oro, el tamaño y cantidad de la grava y el contenido de arcilla, limo y arena de la sobrecarga.

La formación de placeres aluviales depende de varios procesos que se originan desde el área fuente (rocas originarias con meteorización primaria y condiciones climáticas que favorecen la meteorización y la posterior erosión), área de transporte (caudal y dinámica fluvial) y área de depositación final (tipo de roca del lecho, geomorfología y tectónica)

2.2.9 ORIGEN DEL ORO DEL YACIMIENTO ALUVIAL DEL RÍO NECHÍ

La gran mayoría del oro presente en el aluvión del Bajo Cauca proviene de rocas ígneas y metamórficas enriquecidas con depósitos de tipo primario, mineralizaciones diseminadas y vetiformes, localizadas hacia el sur y el este, en cabeceras y trayectos de los ríos Nechí, Porce y afluentes menores.

Los batolitos y los intrusivos son muy susceptibles a la acción de la intemperie, y debido a procesos genéticos y tectonismo, alcanzan una gran desintegración. Es así como en estas zonas son liberados elementos metálicos mineralizados como el oro.

Las variaciones en caudales, niveles de energía e irregularidades en las corrientes fluviales, permiten la separación y concentración natural de los minerales pesados y la eliminación de los livianos. El río Nechí, el bajo Cauca y su cuenca tributaria, han transportado los materiales a lo largo de un desnivel superior a 600 m hasta el área de depositación, en un valle extenso y maduro, que favorece la sedimentación y concentración aurífera debido a la gran pérdida de energía fluvial.

El asentamiento y concentración de partículas de oro, requieren condiciones extremas de inundaciones o cambios climáticos regionales, ocurridos millones de años atrás. El clima y las corrientes actuales pueden tener poca o ninguna semejanza con las que controlaron la formación del placer.

Un factor clave que permite la depositación de los materiales pesados y las concentraciones económicas de oro, es el tipo de material de lecho. Rocas con texturas lisas y homogéneas o rocas macizas y cristalinas son pobres acumuladoras porque ofrecen superficies de flujo con bajas rugosidades y producen turbulencias menores y velocidades altas.

Rugosidades estratificadas, diaclasadas, pizarras o esquitos, cuya disposición estructural ofrece alta inclinación con respecto al flujo, son óptimas para los efectos de acumulación. Este es el caso del lecho de los ríos Porce y Nechí, que corresponde en su mayoría a rocas metamórficas laminadas y estratificadas que se extienden como basamento sobre el valle, favoreciendo la concentración de placeres.

ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA PRÁCTICA

3. 1 PLANEACIÓN DE LA EXPLORACIÓN

Esta primera fase consiste en un reconocimiento del terreno, el cual permite tener una evaluación preliminar de la zona, este reconocimiento se lleva a cabo utilizando principios básicos de la fotointerpretación, realizando la respectiva correlación con mapas topográficos de la zona.

La parte más importante de esta fase se relaciona con la observación en sí, la gran cobertura de áreas registradas por las fotografías aéreas, permiten percibir relaciones existentes que para un observador terrestre pueden no ser tan evidentes debido a las condiciones del terreno. Los aspectos a tener en cuenta son principios elementales de la geomorfología, como la morfología de la superficie aluvial, el sistema de drenajes y la vegetación.

El principal objetivo de esta fase es proporcionar información a grandes rasgos para llevar a cabo una óptima planeación y tratar de concentrar las actividades en las posibles zonas con mayor concentración de oro, además permite estructurar de forma eficaz los movimientos de los taladros y las perforaciones.

La compañía cuenta con fotografías aéreas a escala 1:1000, las cuales son analizadas de forma convencional utilizando un estereoscopio de espejos. En el proceso como practicante en Mineros S.A. realicé fotointerpretación de los vuelos FAL- 272 - 1991, C-2211 – 1985 y C-258 - 1996, buscando identificar geoformas y clasificar las áreas cubiertas por vegetación (Figura 12).

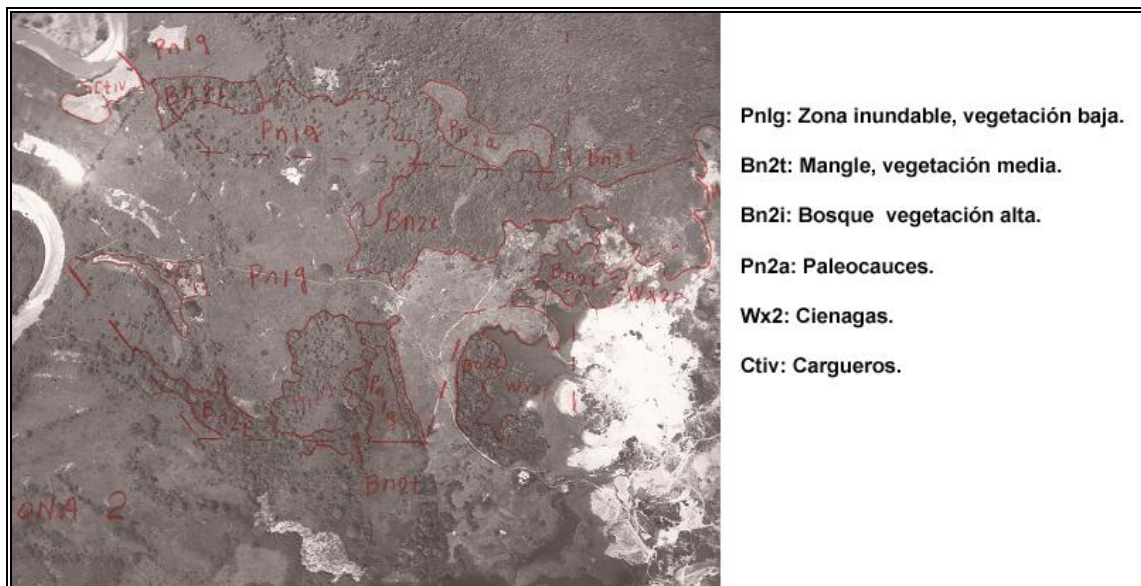


Figura 12. Fotografía del vuelo C-258 – 1996; fotointerpretación de vegetación, utilizada para el proyecto de adquisición de nuevas dragas de succión.

Para el caso específico de la figura 12, se delimitaron zonas teniendo en cuenta la vegetación y las áreas propensas a inundación.

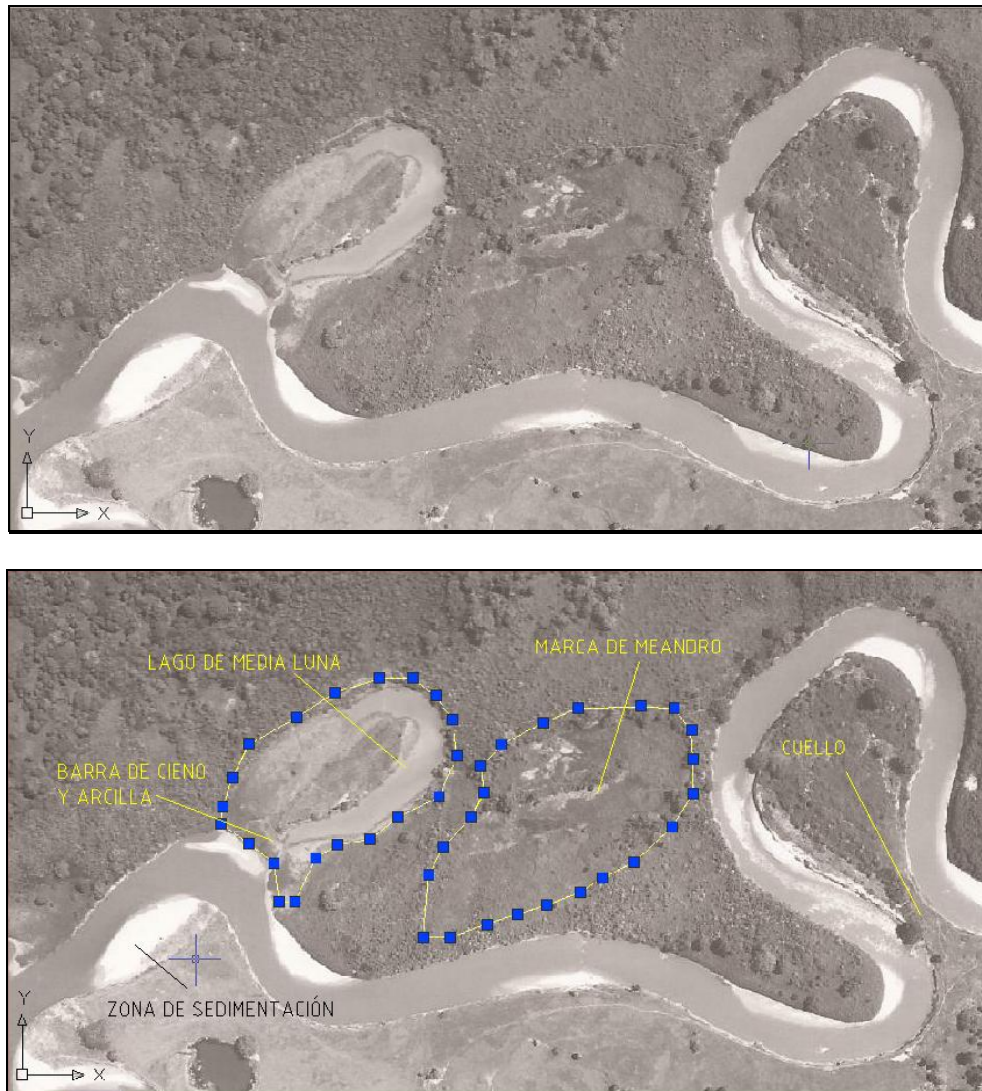


Figura 13. Fotografía del vuelo FAL- 272 – 199; fotointerpretación de áreas potenciales, en el valle del río Nechí.

La dinámica fluvial del Río Nechí se manifiesta en las geoformas fluviales presentes en la región; estas geoformas se pueden apreciar fácilmente con el análisis de fotografías aéreas. En la figura 13 observamos como el río a lo largo de su evolución va formando lagos de medialuna.

Una vez obtenidos los resultados, se elabora una planeación haciendo uso de las interpretaciones geológicas desarrolladas en las fotografías aéreas, buscando optimizar el proceso y se concentran mayores esfuerzos en el sector identificado como zonas donde posiblemente existe una mayor acumulación de mineral, meandros, lagos de media luna, paleocausas etc. Sin embargo la malla de

perforaciones cubre una vasta zona, buscando obtener información de toda el área que compone la licencia, básicamente se explora toda la llanura de inundación del Río Nechí. Se definen las zonas en las que se realizarán las perforaciones para todo el año, además, se debe considerar todo tipo de situaciones como posible nivel de inundación de la zona, los recursos con los que cuenta, etc. Un buen análisis de las zonas dará como resultado la óptima programación del recurso y como consecuencia un trabajo eficiente.

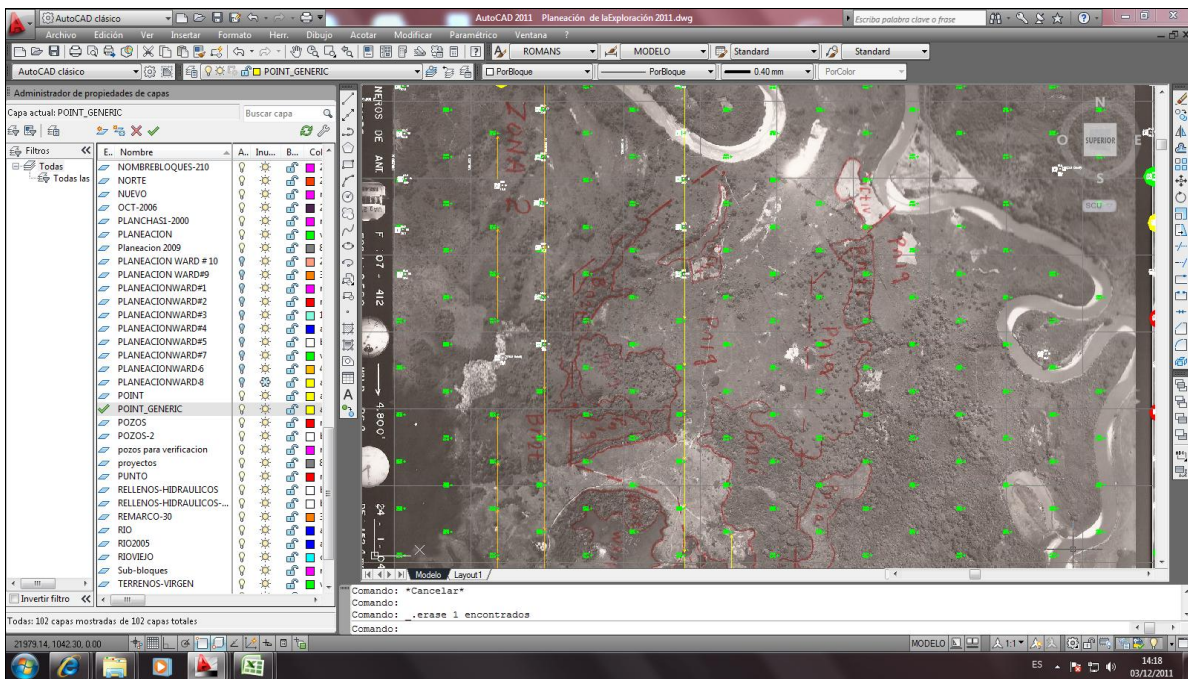


Figura 14. Planeación de Exploración (Autocad 2011).

En la figura 14 observamos el resultado final de todo el proceso de planeación, los datos finales son procesados con el Software Autocad 2011, básicamente se superponen los resultados del análisis de las fotografías aéreas con la malla planeada de perforación, luego esta información es exportada sobre el plano topográfico del aluvión. Con la planeación realizada y los objetivos ya trazados podemos avanzar a la siguiente fase.

A grandes rasgos, la segunda fase de la exploración denominadas “Scout Drilling”, consiste en un proceso de prospección de recursos y se lleva a cabo de la siguiente manera: Inicialmente se traza una red de perforaciones las cuales corresponden a líneas que cortan transversalmente el río en sentido E-W a una distancia medianamente grande de 1.5 km entre líneas, situando los pozos a 244 metros de distancia uno del otro, intercalados entre líneas; esta fase permite una evaluación preliminar del área e identificar zonas ricas en las cuales se concentra el interés. En estas zonas, denominadas canales ricos, se lleva a cabo la tercera fase de exploración en la cual se establece un plan de muestreo más estructurado,

distribuido uniformemente con pozos, formando triángulos equiláteros de lados de 244 m de longitud; a esta fase se le conoce como indicación de reservas. Según los resultados obtenidos en la fase anterior, se realiza la última fase de exploración que es el proceso de comprobación de reservas, la cual consiste en trazar una malla de perforación regular, cerrando las distancias entre pozos, esta red de perforaciones forma triángulos equiláteros de 122 metros de separación entre pozos, como observamos en la figura 15. De esta manera se definen las reservas explotables.

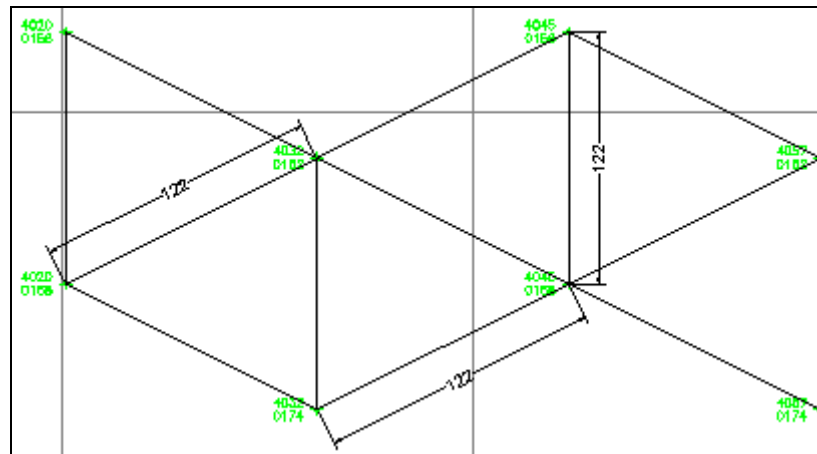


Figura 15. Red triangular que conforma la distribución de pozos (Autocad 2011).

3.2 OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA

Luego de hacer la respectiva planeación de la exploración, continúa la siguiente fase que consiste en la ejecución de la misma. Para realizar dicha ejecución se deben considerar algunos aspectos de suma importancia.

Se resalta la forma como se obtiene la información en campo, donde existen varios subprocesos que se deben llevar a cabo antes y después de realizar una perforación, pero estos no son objeto de este informe. Para iniciar, algo primordial que debemos tener en cuenta es la identificación de un pozo, cada pozo de perforación está definido desde la planeación con las respectivas coordenadas y altura del collar sobre el nivel del mar (Figura 16).

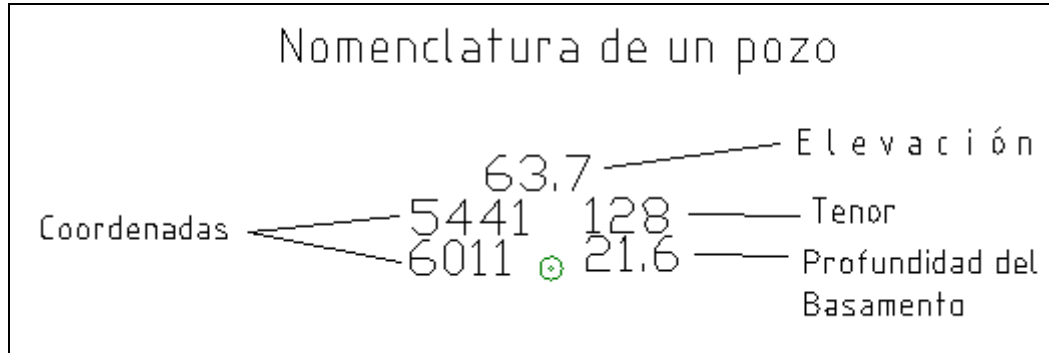


Figura 16. Nomenclatura utilizada para identificar sondeos en campo Mineros S.A.

3.2.1 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA

Estando ubicado el taladro en el sitio planeado, se inicia la perforación, la cual se lleva a cabo utilizando una tubería de 4,5 pulgadas de diámetro; el método de sondeo consiste en una perforación por percusión. Mediante una serie de golpes percutores suaves, se va penetrando un tramo (avance) el cual está determinado por la naturaleza del material; el avance se define como la penetración de un tramo de tubería y la extracción de material que entró en ella. Es común que los avances en los primeros metros sean largos, entre 2 y 6 metros, pero cuando aparece grava o arena con partículas de oro se controlan y son por lo general de 0,30 metros. En cada avance se obliga al material a subir en el interior de la tubería, esta subida debe ser medida y anotada en el registro de campo (Anexo A). Luego de realizar un avance, se procede a la extracción de material que se introdujo al interior de la tubería, dicha extracción se realiza con una bomba tipo émbolo, la cual se introduce en el interior de la tubería hasta donde se encuentra el material, succionándolo con el accionar del émbolo, para luego ser sacado al exterior (Figura 17). Un auxiliar de campo es el encargado de recibir la bomba, transportarla hasta el canalón con un recipiente en la parte inferior para evitar que caiga el material que escurre, de la misma manera es responsable del lavado de la bomba y canalón, asegurando que todo el material sea depositado en el interior de la caja.



Figura 17. Material obtenido de un bombeo durante la perforación en campo.

3.2.2 PROCESAMIENTO DE LA MUESTRA

En la mayoría de los casos, el material extraído está compuesto por uno o varios de los siguientes elementos: Cieno, arcillas, arena o gravas con contaminantes menores de carbón, madera y madera silicificada. Para objeto de explotación aluvial con dragas, sólo se tienen en cuenta la granulometría del material, color y dureza. Con base en una tabla de información geológica (Anexo B) se procede a hacer la descripción utilizando abreviaturas, la identificación del material y algunas propiedades físicas, toda esta información es anotada en el registro de campo (Anexo A), teniendo en cuenta el orden de abundancia de cada material, describiendo color, dureza y tamaño, si es compacto, duro, pegajoso etc. En caso de presentarse grava en la muestra, se realiza un tamizado para clasificar el tamaño de la grava y el material extraído es tamizado a menos 1/8 de pulgada con el fin de facilitar su lavado. El tamaño mayor es empacado en costales, el tamaño menor es recogido en una batea. El auxiliar de campo encargado del lavado de la muestra, tiene como responsabilidad el correcto tamizado y procesamiento de la muestra, así como también su empaque. El material menor de 1/8 de pulgada que se recogió en la etapa anterior, es lavado utilizando la técnica de bateo basada en concentración gravimétrica. Este es el último paso en el proceso de búsqueda y separación de oro a partir de un sedimento y en el proceso se busca ir eliminando sedimento de la batea, haciendo que el agua entre por la parte delantera de la misma, llegue hasta el fondo y arrastre parte de sedimento al salir. Con este movimiento, subiendo y bajando la batea sobre el nivel del agua, se va eliminando casi la totalidad de sedimento ligero y concentrando los minerales pesados (incluido el oro), en el fondo de la batea. Este proceso genera como producto

arenas negras (Figura 18), las cuales son lavadas con un trabajo más minucioso en una batea de fibra, mas llana que la anterior, con el fin de retirar las arenas negras y dejar esparcido el oro en ella. Posteriormente de acuerdo a su tamaño, se realiza una clasificación teniendo en cuenta los colores con base en una tabla (tabla de colores Anexo C), esta tabla clasifica las partículas de oro según su tamaño, asignando a cada partícula un peso aproximado para estimar la cantidad de oro presente en el avance y se anota en el registro de campo el número de partículas de cada color, estimando un peso total.



Figura 18. Proceso de bateado de arena negra.

Se lleva a cabo un último proceso denominado “REPAN”, que consiste en volver a lavar todo el material menor de 1/8 de pulgada, con el fin de rescatar las partículas de oro que pudieron escapar en las etapas anteriores de lavado. Es función del auxiliar encargado, lavar la muestra, para lo cual hace una primera clasificación pasando tres veces el material por un canalón y luego termina de hacer el lavado en la batea del material concentrado en el canalón; las partículas allí recuperadas son separadas de igual forma que las anteriores, pero se hace la aclaración en el registro de campo con la anotación de “REPAN”. Se realiza un cálculo para obtener el tenor del pozo utilizando los volúmenes, la profundidad y la cantidad de oro.

El Supervisor de Exploración es el responsable de traer y entregar el oro y las arenas negras en el Departamento Metalúrgico de la empresa. El jefe del Departamento Metalúrgico anota el número de identificación de la muestra y el taladro de procedencia, hace la limpieza, pesa el oro y las arenas, y luego entrega el resultado al topógrafo calculista, quien se encarga de calcular los tenores reales con el peso procedente del laboratorio.

Como estudiante en práctica profesional, mi participación en esta parte del proceso, es el aporte geológico en campo, el cual se limita al asesoramiento de la descripción litológica de las muestras en campo, tamaño, color, dureza. Realizando visitas 3 días a la semana al frente de exploración.

3.4 ARMADO DE BLOQUES EXPLOTABLES

Con los resultados obtenidos en la exploración, se identifican y definen los bloques de reservas de acuerdo a los tenores de los pozos de influencia en el área.

Para ello es preciso determinar inicialmente un tenor de corte, el cual representa la cantidad de oro necesaria que se debe sacar en determinado volumen de material para que se cubran los costos totales de la operación; una vez detectado éste tenor, se estima un tenor deseado de tal manera que considere tanto los costos totales como las utilidades que se esperan obtener.

El proceso de armado de bloques se lleva a cabo delimitando áreas con pozos de tenor igual o mayor al tenor de corte. En esta ocasión los bloques desarrollados como practicante se elaboraron utilizando el Software Autocad 2011 y el nuevo bloque armado está conformado por cuatro zonas y se denominó CA4 (Figura 19).

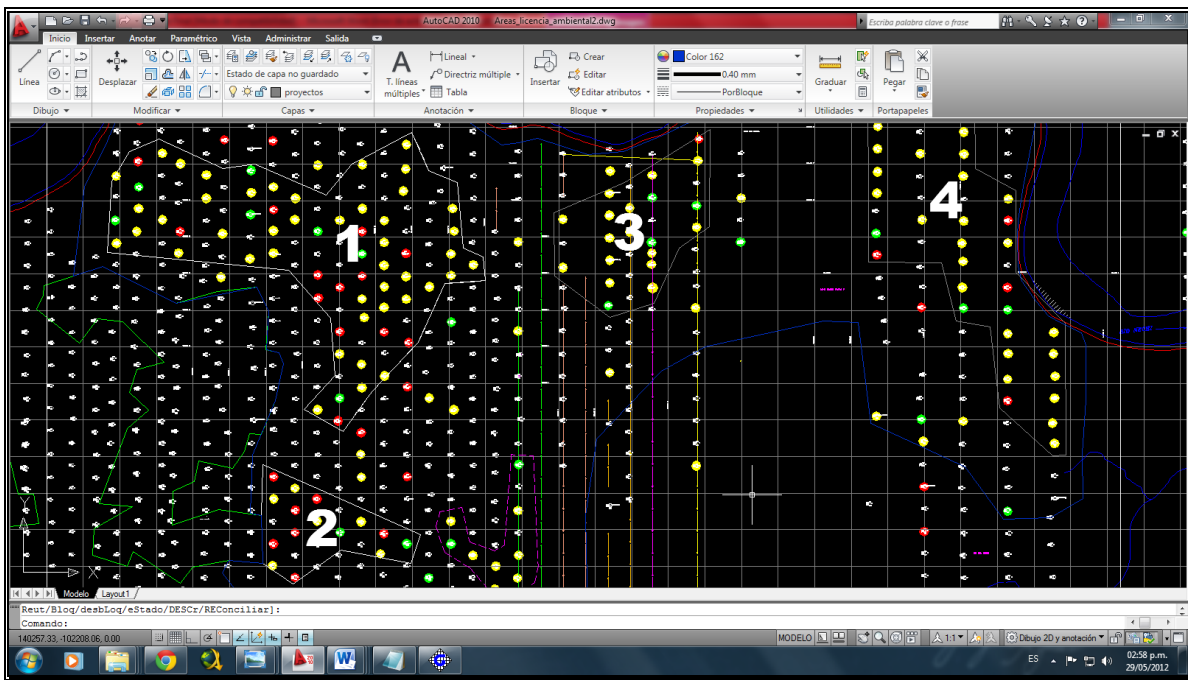


Figura 19. Nuevo bloque armado (Autocad 2011).

Luego de tener bien definido el nuevo bloque se procede a hacer una descripción de las características geológicas del mismo, para esto se deben realizar perfiles estratigráficos de las líneas de perforaciones espaciadas a 122 metros en dirección E-W (Anexo D). Estos perfiles geológicos se dibujaron utilizando una

escala horizontal 1:2000 y vertical 1:200, la siguiente convención de colores interna: Grava gruesa (amarillo), Grava media (rojo), Grava fina (negro), arena (morado) y arcilla (verde), siendo representados para cada pozo los diferentes materiales y su profundidad, definiendo así el espesor de las capas en cada punto perforado. Con los perfiles elaborados se procede a estudiar las características geológicas de los mismos, facilitando la identificación e interpretación de los diferentes eventos de depositación aluvial que definen cada bloque de reservas.

3.4.1 NUEVO BLOQUE CA4

En mi estancia como practicante, desarrollamos un nuevo bloque de reservas medidas, denominado CA4, realizando un análisis desde el punto de vista geológico. Para el caso del nuevo bloque los perfiles geológicos muestran secuencias de depositación gradacional consistentes en niveles de gravas gruesas seguidas o intercaladas con gravas medias, gravas finas y finalmente arenas y arcillas, características que representan una disminución paulatina del régimen de caudal dentro del ambiente fluvial. Dicha secuencia se encuentra depositada sobre una arcilla dura y compacta de color verde azulado, considerada como un nivel superior de un basamento terciario.

Además el nuevo bloque CA4, en general, se caracteriza por presentar una sobrecarga estéril con un espesor promedio de 10 m, constituidos inicialmente por una capa de arcilla de 8 m de espesor seguidos por 3,3 m de arena. Sin embargo en algunos sectores del bloque al extremo norte, el espesor de la capa superior arcillosa, disminuye a 6 m seguidos por 9 m de arena. En cuanto a la distribución de las gravas se puede afirmar que se presentan espesores entre 6 y 3 metros, predominando mayores espesores en el extremo sur del bloque, por densidades el oro está estrechamente ligado con los niveles de gravas, por lo que se esperaría una mayor producción durante la explotación de ésta zona.

3.5 CÁLCULO DE RESERVAS

Una vez se han definido los bloques, teniendo en cada pozo los tenores correspondientes, se procede a la delicada fase de estimación de las reservas del bloque. Esta consiste en calcular, con el mínimo error posible, la cantidad de mineral existente en el bloque estudiado.

La relación de volumen de material que se debe mover con respecto al material con valores que deben sacar las cucharas para obtener la cantidad de oro deseado, permite calcular los años de reservas probadas bajo las condiciones de explotación en la empresa.

Algunos factores a tener en cuenta para el cálculo del índice de reservas son: El precio internacional del oro, la devaluación del peso colombiano, los costos de la empresa, la cantidad de volumen que se debe mover para sacar cierta cantidad de oro, pues son estos parámetros los que finalmente determinan los tenores considerados en el cálculo.

Las reservas que se estiman en esta fase inicial son las geológicas o *in situ*. Posteriormente se tendrán en cuenta otros condicionamientos, como son los factores de diseño de la explotación, método minero, recuperación, dilución, elementos traza, etc. que definirán las denominadas reservas mineras probadas, que generalmente son inferiores a las primeras.

3.5.1 MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS

Existen varios métodos de estimación de reservas, pero debido a las particularidades del yacimiento aluvial del río Nechí, utilizamos el método de los polígonos, el cual consiste en construir una serie de polígonos, en cuyos centros, se encuentra un pozo, asignando a cada polígono espesor, densidad y tenor de dicho sondeo, asumiendo por tanto, que tales parámetros permanecen constantes en todo el polígono (dominio de influencia del pozo). Para construir los polígonos, se utilizan bisectrices angulares (vértices de polígono → corte de bisectrices de ángulos definidos por las líneas que unen los pozos). Si el número de sondeos es grande, se obtienen muchos polígonos y como resultado una mayor precisión; pero si el número de pozos en una determinada área es pequeño, como ocurre en áreas de recursos indicados las cuales son poco exploradas, se asigna un espesor y un tenor determinado a un área excesivamente grande. Para corregir esos errores, se realizan ponderaciones en los tenores de los pozos. Las reservas se obtienen individualmente para cada polígono y luego se obtiene el total como la suma de todos los polígonos. Todo este procedimiento se simplifica utilizando el software PolyCAD (Figura 20), este programa produce automáticamente a partir de bloques, zonas de influencia que corresponden a un polígono alrededor de cada sondeo. La cantidad de oro presente en el bloque es establecida por interpolación, a partir de la ayuda de métodos basados en las distancias ponderadas.

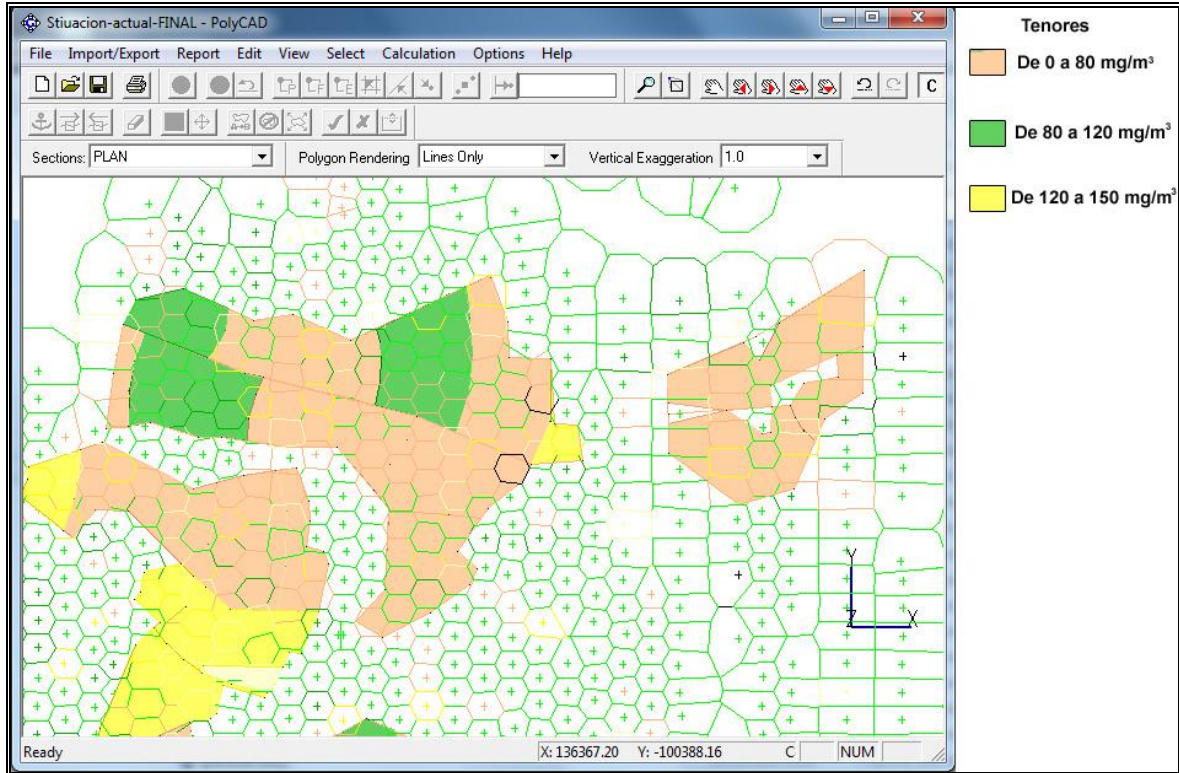


Figura 20. Cálculo de reservas en Software PolyCAD.

3.6 OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS COMO PRACTICANTE DE GEOLOGÍA

Además de las actividades antes mencionadas en este informe, en mi estancia como practicante en la compañía Mineros S.A. realicé otras actividades estrechamente ligadas con la geología, entre estas actividades es importante distinguir la elaboración de columnas estratigráficas que incluyen la distribución vertical del oro y la correlación entre éstas con perfiles estratigráficos correspondientes a los sondeos sobre los cuales las dragas van a ejecutar su operación a lo largo del periodo de prácticas en los frentes de explotación (Anexo E), si bien los bloques de reserva están previamente analizados, debido a las duras condiciones del entorno, las dragas necesitan información concreta y en un formato de manejo sencillo; para suministrar esta información desde el área de ingeniería la sección de geología provee a las dragas las columnas estratigráficas mensualmente. Además cada mes realicé un informe resumiendo los indicadores de producción, asociándolos con las características geológicas de la zona explotada, y así desde el punto de vista geológico, intentar explicar las diferencias entre el oro estimado y el oro recuperado (R/E). Cabe aclarar que las diferencias en el R/E pueden tener muchas posibles causas además de las características del terreno. También participé en los trámites de licencias ambientales, de exploración y explotación, generando mapas en el software Autocad 2011. Además estuve

involucrado en propuestas para nuevos sitios de exploración diferentes al valle aluvial del río Nechí, realicé perfiles generales de todo el aluvión (Anexo F) que contienen las profundidades de la capa estéril, capa rica y la profundidad del basamento estos perfiles fueron utilizados para estudiar la adquisición de nuevas dragas de succión.

CONCLUSIONES

- Se delimitaron cuatro zonas potenciales en el área de las minas Santa Paula 7 y Santa Paula 8.
- Se hizo una delimitación de los tipos de vegetación que permitió calcular el área descapotable, información que fue utilizada para el proyecto de adquisición de nuevas dragas de succión y de máquinas de rocería.
- Se mejoró la metodología de prospección de áreas económicamente explotables y los procedimientos de descripción de muestras de campo y la medida de volúmenes de materiales.
- Se dio la asesoría a solución de problemas en la descripción de muestras de campo y en medida de volúmenes de materiales.
- Se desarrolló un nuevo bloque de reservas medidas denominado CA4.

RECOMENDACIONES

Se recomienda, el uso del programa ISATIS, software geoestadístico que realiza una mejor correlación entre los sondeos que permite una mejor estimación de reservas, en reemplazo del método de polígonos con el software Polycad, es un método no muy reciente, a pesar de arrojar resultados positivos en la mayoría de los casos presenta variaciones anómalas en la cuantificación de reservas. El programa ISATIS consiste un solo paquete integrado, que contiene una exclusiva gama de técnicas geoestadísticas probadas para el análisis en profundidad de datos, estimaciones y simulaciones.

Se proponen, el uso de métodos magnetométricos que permita establecer zonas potencialmente ricas realizando correlaciones entre la cantidad de arenas negras y el contenido de oro, de esta forma se puede minimizar el número de perforaciones en áreas pobres.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, B., Palau, C. & Paba, F., 1940a. Informe sobre los yacimientos de asbesto de Nodrizal, Antioquia Boletín Minas y Petróleos, año 1939, Nos. 121-144, pp.37-49. Minería año 1941, Nos. 103-104, pp. 8625-8634.
- Alvarado, B. & Sarmiento, R., 1943. Informe geológico sobre la central hidroeléctrica del río Buey, Abejorral, Antioquia. CEGOC, año 1944, 7: 111-129.
- Barrero, D., Álvarez, J. & Kassen, T., 1969. Actividad ígnea y tectónica de la Cordillera Central de Colombia durante el Mesocenoico, Boletín Geológico, Ingeominas, 18 (I-3): 145-173.
- Bogotá, J. y Aluja, J., 1981. Geología de la Serranía de San Lucas. Geología Norandina. N° 4.
- Botero, R., G., 1940. Petrographic study and possibilities for ornamental uses of samples from the Antioquian Batholith, Colombia, S.A. U. of Minnesota, Dep of Geology Informe S.G.N. No. 351.
- Centro de Estudios Ambientales (1988): "EIA de la minería aurífera en el bajo Cauca y nordeste Antioqueño". Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Medellín. Colombia.
- Donald, J., 1994. Surface Landforms and processes, Easterbrook MacMillan publishing company.
- Feininger, T., 1970. Palestina fault, Colombia Bull Geol Soc. Am. 81: 1201-1216.
- Feininger, T.; Barrero, D. y Castro, N., 1972. Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (subzona IIB). Boletín geológico, Volumen XX, No. 2. Ingeominas. Bogotá.
- García, C. y Sánchez, S 1988. Estudio geomorfológico de la cuenca del río Nechí entre Puerto Claver y Río Viejo. Medellín. Tesis de grado (Ingeniero Geólogo). Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia 187p.
- Geyer, O. (1969). La Fauna de amonites del perfil típico de la Formación Morrocoyal. Memoria Primer Congreso Colombiano de Geología. pp. 111-134. Bogotá.

- Gómez, G., Restrepo, E., Ordonez, J., Duque, R., Cortes, A., Sanches, S., Caicedo, J., Márquez, R., Moreno, M., López, J., & Camacho, G. 1999. Plan de Manejo Ambiental Mineros de Antioquia S.A. Estudios y Asesorías Ingenieros Consultores Ltda.. 215p.
- González, H., 2001. Mapa geológico de Antioquia, escala 1:400.000, Memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá.
- González, H., 1992. Geología Plancha 106 Liberia. Escala 1:100.000. Memoria explicativa. Ingeominas. Bogotá
- González, H., 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina) del Mapa Geológico de Colombia. Bol. Geol. Ingeominas, Bogotá. 23 (1), pp. 1074.
- González, H., 1976. Geología del Cuadrángulo J8 (Sonsón). Ingeominas. Informe 1704. Medellín. 321 P
- Hall, R.B, Feininger, T., Barrero, D., Río, H & Álvarez, J., 1971. Recursos minerales de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas. Bol. Geol. 18(2), T. II.
- Hall, R., Álvarez, J. & Rico, H., 1972. Geología de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub zona I-A). Boletín Geológico Ingeominas, 20(1) : 1-85.
- Kassem, T., Álvarez, J. & Arango, J., González, H. & Vesga, J., 1979. Mapa geológico de Antioquia, escala 1:500.000. Ingeominas, Bogotá.
- Maya, M. y González, H., 1995. Unidades Litodémicas de la Cordillera Central de Colombia. Boletín Geológico de INGEOMINAS. Bogotá. Vol. 35. No. 2-3. pp. 43 - 57.
- Royo y Gómez, J., 1940. Informe preliminar sobre las materias primas para la industria cerámica existentes en el oriente y centro de Antioquia (1949) Boletín de Minas y Petróleos, año 1940, Nos. 121-144, pp. 97-134.
- Shelmon, R., 1970. Geomorphology of the lower Nechí river valley. Pato Consolidated Gold Dredging, Limited. El Bagre Antioquia.
- Shlemon, R., Phelps, B., 1971. Dredge-tailing agriculture on the Rio Nechí, Colombia.
- Sarmiento, R., 1951. Estudio de carbón en la región de Bajo Cauca, Departamento de Antioquia Bol. Geol. (11-12): 1-26, 1953.

- Tschanz, C. M., Marvin, R. F., Cruz, B. J., Mehnert, H. H. & Cebula, G. T. 1974; Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia: Geol. Soc. Am. eBull. 1-55.
- Zapata, G. & Cossio, U., 1993. Plancha 93 Tarazá. Ingeominas.