



**EXPLORACIÓN, MUESTREO, DESCRIPCIÓN Y TOMA DE DATOS
GEOLÓGICOS EN LOS YACIMIENTOS VETÍTIOS AURÍFEROS EN
EL MUNICIPIO DE REMEDIOS, NORESTE ANTIOQUEÑO**

IVON JOHANA OTERO CASTILLO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2012



**EXPLORACIÓN, MUESTREO, DESCRIPCIÓN Y TOMA DE DATOS
GEOLÓGICOS EN LOS YACIMIENTOS VETÍTICOS AURÍFEROS EN
EL MUNICIPIO DE REMEDIOS, NORESTE ANTIOQUEÑO**

IVON JOHANA OTERO CASTILLO

**Trabajo de grado modalidad práctica empresarial, para obtener el título de
Geóloga**

Director

LUIS ENRIQUE CRUZ GUEVARA

Geólogo

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA**

2012

A Dios, familia, mi pareja y amigos.





Agradezco inmensamente a Dios, mi gran amigo y maestro de la vida.

Por su amor, comprensión y apoyo agradezco a mi familia.

Por su apoyo agradezco a Carolina Rodríguez Sánchez.

Agradezco a Rafael Rodríguez, amigo y profesor que me brindo la oportunidad de iniciar mi experiencia en el campo de geología y aplicar todo lo aprendido en la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Agradezco a Luis Cruz, amigo y maestro quien me indico y enseñó detalles importantes en el desarrollo de mi experiencia en geología.

Agradezco al lector por su tiempo y entusiasmo en leer mis consideraciones y mi experiencia.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pag. |
|---|-----------|
| INTRODUCCION..... | 21 |
| 1 OBJETIVOS..... | 23 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL | 23 |
| 1.2 OBJETIVO ESPECIFICO | 23 |
| 2 GEOLOGIA..... | 24 |
| 2.1 GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO..... | 24 |
| 2.2 GEOMORFOLOGIA | 27 |
| 2.3 TECTONICA REGIONAL | 28 |
| 2.4 PARAGENESIS MINERAL ASOCIADA AL DISTRITO MINERO SEGOVIA-REMEDIOS (DMSR)..... | 33 |
| 2.5 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPÓSITO | 35 |
| 3 MARCO TEORICO..... | 40 |
| 3.1 EXPLORACION GEOQUIMICA | 40 |
| 3.2 PROCESO DE DISPERSION GEOQUIMICA..... | 41 |
| 3.2.1 Dispersión primaria..... | 43 |
| 3.2.2 Dispersión secundaria | 44 |
| 4 PROCEDIMIENTOS EJECUTABLES LICENCIA DE EXPLOTACIÓN N° 6173 (MINA QUINTANA) | 46 |
| 4.1 MARCO LEGAL MINERO | 46 |
| 4.2 ETAPAS DE EXPLORACION MINERAL EN GEOLOGIA..... | 48 |
| 4.3 ETAPA DE EXPLOTACION MINERAL EN GEOLOGIA..... | 50 |
| 4.4 PROGRAMA DE DESARROLLO DEL MINERAL EN PLANTA Y LABORATORIO | 51 |
| 4.5 TECNICAS AMBIENTALES EN EL PROCESO MINERO | 53 |
| 4.6 IMPACTO SOCIAL DE LOS PROYECTOS MINEROS..... | 55 |
| 5 PLAN DE TRABAJO..... | 56 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.1 | RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ARTÍCULOS, INFORMES, TESIS, LIBROS... | |
| | | 56 |
| 5.2 | ACTIVIDADES REALIZADAS..... | 56 |
| 5.2.1 | Actividad A: recolección, descripción y organización de muestras de suelo..... | 56 |
| 5.2.2 | Actividad B: recolección, descripción y organización de muestras de suelos en trincheras..... | 67 |
| 5.2.3 | Actividad C: recolección, descripción y organización de muestras de sondeos mecánicos | 83 |
| 5.2.4 | Actividad D: exploración litológica y estructural | 101 |
| 5.2.5 | Actividad E: recolección, descripción y organización de muestras de tunelería y de frentes de explotación en las licencias matrona y Quintana | 110 |
| 5.3 | ELABORACIÓN DE AVANCES MENSUALES PARA LA UNIVERSIDAD | 114 |
| 5.4 | ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL | 114 |
| 6 | IMPLICACIONES EN LA EXPLORACION DE NUEVOS DEPOSITOS MINERALES | 115 |
| 6.1 | CRITERIOS DE EXPLORACIÓN “EXPLORATION TARGET” | 115 |
| 6.2 | ÁREAS DONDE ESPERO ENCONTRAR YACIMIENTOS SIMILARES..... | 116 |
| 6.3 | DEPÓSITOS OROGÉNICOS SIMILARES EN COLOMBIA..... | 118 |
| 7 | DISCUSIONES..... | 119 |
| 7.1 | CARACTERÍSTICAS DE DEPOSITOS TIPO ORO OROGÉNICO | 119 |
| 7.1.1 | Características tectónicas y fisicoquímicas del depósito orogénico..... | 119 |
| 7.1.2 | Análisis de Paragénesis mineral..... | 121 |
| 7.2 | ANALISIS DE ANOMALIAS GEOQUIMICAS..... | 122 |
| | CONCLUSIONES..... | 123 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 126 |
| | ANEXOS | 132 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| FIGURA 1. Localización de las diferentes licencias de estudio en el Nordeste Antioqueño. Modificado de Cardales (1962)..... | 22 |
| FIGURA 2. Mapa de geología regional. Modificado de Echeverry et al. (2009). | 25 |
| FIGURA 3. Esquema geológico del batolito antioqueño. Modificado de González (2001)..... | 27 |
| FIGURA 4. Sistema montañoso típico del Batolito de Segovia en el área de estudio, donde se observa claramente el sistema dendrítico. | 27 |
| FIGURA 5. Interpretación tectónica de la región del Nordeste Antioqueño. Tomado de Rodríguez (2007). | 29 |
| FIGURA 6. Modelo de evolución estructural vetítico del depósito en base al modelo tipo Riedel. Tomado de Echeverry et al. (2009). | 31 |
| FIGURA 7. Manifestaciones de oro de veta y su relación con los sistemas de fracturas regionales. Modificado de Rodríguez (2007). | 32 |
| FIGURA 8. Paragénesis global de las mineralizaciones del DMRS. Tomado de Manco (2010)..... | 33 |
| FIGURA 9. Modelo evolutivo para el territorio Colombiano. Modificado de Toussaint (1993)..... | 36 |
| FIGURA 10. Reconstrucción de hace 130 Ma (Cretáceo Inferior) observe la paleo ubicación del Terreno Tahamí, Antioquia. Tomado de Kenna (2009). | 37 |
| FIGURA 11. Reconstrucción del Norte de los Andes hace 46 Ma, aproximadamente Eoceno medio con base en la interpretación palomagnética. Tomado de Kenna (2009)..... | 38 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 12. Subducción de la placa del pacifico bajo el basamento continental. Tomado de Flórez (2003). | 39 |
| FIGURA 13. Manifestación de una Mineralización en Superficie. Tomado de (http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/) | 42 |
| FIGURA 14. Representación de una Anomalía Geoquímica Hidrotermal. Tomado de (http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm)..... | 43 |
| FIGURA 15. Mapa de los proyectos mineros entre los municipios de Cisneros hasta Remedios. Tomado de Naranjo (2008)..... | 47 |
| FIGURA 16. Proceso de molienda en planta. Tomado de Ríos (2010)..... | 52 |
| FIGURA 17. Proceso de cianuración en planta y laboratorio. Tomado de Ríos (2010). | 52 |
| FIGURA 18. Piscinas de relleno hidráulico en licencia 7123 Quintana. | 54 |
| FIGURA 19. Venilla de cuarzo entre un suelo arcilloso..... | 57 |
| FIGURA 20. Canal de muestra de suelo, Túnel 2, Cabuyal, Antioquia. | 59 |
| FIGURA 21. Fragmentos de cuarzo en limo. | 62 |
| FIGURA 22. Fragmentos de roca de granodiorita de diferentes tamaños en el suelo limoso. | 63 |
| FIGURA 23. fragmento de granodiorita fuertemente meteorizada y oxidada..... | 64 |
| FIGURA 24. Granodiorita esta convertida completamente ha arcilla y oxidada en Licencia 7218 (San Roque). | 65 |
| FIGURA 25. Minerales secundarios en los suelos de Licencia 7218 (San Roque)..... | 66 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 26. Geólogo trabajando en una trinchera. Tomado de Oyarzun (2011)..... | 68 |
| FIGURA 27. Mapa de suelos de Licencia 5698-745 (Quintana). | 70 |
| FIGURA 28. Veta en trinchera en Licencia 745 (Quintana)..... | 71 |
| FIGURA 29. Trinchera en el área inferior de mina Licencia 5698 (Quintana). | 72 |
| FIGURA 30. Veta oxidada en Licencia 5698 (Quintana). | 73 |
| FIGURA 31. (a) y (b) Roca caja alterada y oxidada en Licencia 5698 (Quintana). | 74 |
| FIGURA 32. Trinchera siguiendo la veta en Licencia 5698 (Quintana). | 75 |
| FIGURA 33. Mapa de suelos de Licencia 6002 (Rosaleda). Tomado de Quintero (2011). | 76 |
| FIGURA 34. Trinchera en rosaleda, fase relleno-recolección. | 77 |
| FIGURA 35. Trincheras paralelas en intervalos. | 78 |
| FIGURA 36. Propiedades físicas del material. | 79 |
| FIGURA 37. Alteración secundaria del material. | 80 |
| FIGURA 38. (a) Túnel subterráneo de mineros artesanales y (b) “cuña” de cuarzo. | 81 |
| FIGURA 39. Recolección de bloques de cuarzo. | 81 |
| FIGURA 40. Fragmentos de cuarzo con oxidación. | 82 |
| FIGURA 41. Disposición de sondeos tipo DDH. Tomado de Oyarzun (2011). | 84 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 42. Perfil de una región de suelo con mineralización, Tomado de http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/ | 85 |
| FIGURA 43. Fracturas geotectónicas paralelas pozo QM01, caja 03. | 86 |
| FIGURA 44. Contacto mineralizado entre granodiorita (Gdr) y dique (dike). | 87 |
| FIGURA 45. Granodiorita alterada hidrotermalmente. | 88 |
| FIGURA 46. Material muy fracturado (roca y dique) con arcillas, posiblemente zona de cizalla..... | 89 |
| FIGURA 47. Arcillas entre material completamente triturado (Detalle de FIGURA 46). | 90 |
| FIGURA 48. Núcleo de perforación. Tomado de Moon et al. (2006)..... | 91 |
| FIGURA 49. Correlación de pozos con descripción de logueo y RQD en el prospecto de la Montaña Parys Anglesey, Wales. Tomado de Moon et al. (2006)..... | 92 |
| FIGURA 50. Correlación de tres log de pozos de perforación, y ubicación en la zona. Tomado de Moon et al. (2006). | 93 |
| FIGURA 51. Fotografía de núcleos de perforación. | 94 |
| FIGURA 52. Pozo QM 01..... | 96 |
| FIGURA 53. Pozo QM 01..... | 96 |
| FIGURA 54. Pozo QS 03. | 97 |
| FIGURA 55. Pozo QN04 cortado en la mitad y muestreado. | 98 |
| FIGURA 56. Diagrama de malla de perforación..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 57. Proceso de exploración con perforación. a) Túnel de exploración y b) montaje de máquina de perforación..... | 100 |
| FIGURA 58. Litología general del área de estudio..... | 102 |
| FIGURA 59. Frente de avance en mina Quintana, nivel 1 Norte. Tomado de Moreno (2008). | 103 |
| FIGURA 60. Frente de avance en mina Quintana, nivel 3 Norte. Tomado de Moreno (2008). | 104 |
| FIGURA 61. Vetas y venillas mineralizadas presentes en Mina Quintana..... | 106 |
| FIGURA 62. Mineralogía de la nomina (mineralización) (a) Galena (Ga) con Calcopirita (Ccp) (b) Pirrotita (Po) con calcopirita (Ccp) (c) Esfalerita (Sp) y (d) Pirita. Abreviaturas de las fases minerales según Whitney et al. (2010). | 107 |
| FIGURA 63. (a) Mineralización de transición dúctil - frágil, (b) estructura sigmoide vetítica y (c) sistema de explotación de dos vetas paralelas. | 109 |
| FIGURA 64. Método de muestreo aplicado tanto en tunelería como en frente de explotación. Muestreo de canal perpendicular al contacto con la roca caja. Tomado de Naranjo (2008). | 111 |
| FIGURA 65. Veta principal de Licencia 8411 (Matrona). | 112 |
| FIGURA 66. Mapa de infraestructura y desarrollo de la Mina Quintana. Tomado de Moreno (2008). | 113 |
| FIGURA 67. Mapa de la distribución de la corteza del continente Americano en relación con la edad y la distribución de los principales filones orogénicos de oro. Modificado de Goldfarb et al. (2001). | 117 |
| FIGURA 68. Evolución de una cuenca durante la convergencia de placas tectónicas. Tomado de Einsele (1991). | 136 |

FIGURA 69. Modelo esquemático del complejo tectónico-magmático de postcolisión de terrenos.
Tomado de Goldfarb et al. (2001)..... 137

FIGURA 70. Fenómenos de transtensión y transpresión en un escenario de falla transcurrente.
Tomado de <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>. 139

FIGURA 71. Modelo generalizado de los estilos estructurales de precipitación de metales en depósitos vetíticos de oro. Tomado de <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>)..... 140

FIGURA 72. Sistemas de falla en extensión y compresión. Tomado de Oyarzun (2011). 141

FIGURA 73. Formación de fracturas de Riedel (R_1 YR_2) para una falla sinistral. Tomado de Oyarzun (2011)..... 142



LISTA DE TABLAS

Pág.

| | |
|---|-----|
| TABLA 1 Compuestos del hierro que influyen en el color del suelo. Tomado de Tamhane (1978). | 58 |
| TABLA 2. Metodología de muestreo en túneles. Tomado de Naranjo (2008). | 110 |
| TABLA 3. Criterios de exploración para depósitos auríferos. | 115 |
| TABLA 4. Metalogénesis aurífera en Colombia. Tomado de Buenaventura J (2006). | 118 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|------------|
| ANEXO A: UBICACIÓN EN EXPLORACIÓN | 133 |
| ANEXO B: DEPOSITOS DE ORO OROGENICO; YACIMIENTOS AURIFEROS VETÍTICOS | 135 |
| ANEXO C: GUIAS ESTRUCTURALES Y DE MINERALIZACION | 139 |

RESUMEN

Título: Exploración, muestreo, descripción y toma de datos geológicos en los yacimientos vetíticos auríferos en el Municipio de Remedios, Noreste Antioqueño*.

Autor: Ivon Johana Otero Castillo**.

Palabras claves: Oro orogénico, minerales metálicos, anomalías minerales, métodos geoquímicos, muestreo de suelo, mapa de suelos, sondeos mecánicos, veta mineralizada.

Contenido: La empresa Colombiana QUINTANA SAS asociada con la empresa inversionista EATON GOLD SAS, explora y explota yacimientos auríferos de oro orogénico en el distrito minero Remedios en el Noreste Antioqueño. Su negocio está constituido por 8 contratos de concesión, 7 para la exploración de minerales metálicos y 1 la Licencia 6173 (Mina Quintana) para la explotación de minerales metálicos. Particularmente la Licencia 6173 (Mina Quintana) ha pasado por las diferentes etapas de exploración y de los resultados positivos obtenidos en cada una de ellas término convirtiéndose en un proyecto de explotación, por lo tanto es la guía utilizada frecuentemente para trabajar con las demás licencias: Licencia 7123 (Vegachi), Licencia 7121 (Cabuyal), Licencia 7218 (San Roque), 5698-745 (Quintana), y Licencia 6002 (Rosaleda), Licencia 8411 (Matrona). Actualmente Licencia 6002 (Rosaleda), es un área bastante positiva para los análisis geoquímicos realizados después de Licencia 6173 (Mina Quintana).

El principal objetivo de la práctica es determinar áreas anómalas de oro superficial y subterráneo, utilizando la información obtenida en trabajos de explotación artesanal y el programa de exploración del departamento de geología de la empresa basado en métodos geoquímicos. El inicio del programa de exploración geoquímica es el muestreo de suelo, donde se recolectan muestras de suelo a un intervalo de profundidad entre (0.50-0.70m) el resultado de esta fase es la construcción de un mapa de las anomalías del suelo en superficie. La siguiente etapa de exploración es la recolección de muestras de suelo en trincheras, la ubicación de cada trinchera está basada en el mapa de suelos, en esta fase se recolectan muestras de suelo a un intervalo de profundidad entre (1.40-1.50m) el resultado es la selección de áreas anómalas específicamente. Posteriormente empieza la etapa de sondeos mecánicos, donde se busca la veta mineralizada.

*Proyecto de grado modalidad practica empresarial.

**Facultad: Físicoquímicas, Escuela: Geología, Director: Luis Enrique Cruz Guevara.

ABSTRACT

Title: Exploration, sampling and data collection description geological vetíticos gold deposits in the Municipality of Remedies, Northeastern Antioquia*.

Writer: Ivon Johana Otero Castillo**.

Keywords: Orogenic gold, metal ores, mineral anomalies, geochemistry, soil sampling, soil map, boreholes, mineralized vein.

Abstract: The Colombian company QUINTANA SAS investment company associated with GOLD EATON SAS, explore and exploit gold deposits in orogenic gold mining district in northeastern Antioquia Remedies. Its business consists of 8 concession contracts, 7 for metallic minerals exploration and 1 License 6173 (Mina Quintana) for the exploitation of metallic ores. Particularly the License 6173 (Mina Quintana) has gone through different stages of exploration and the positive results obtained in each term becoming a mining project, so it is often used to guide work with other licenses: License 7123 (Vegachi), License 7121 (Cabuyal), License 7218 (San Roque), 5698-745 (Quintana), and License 6002 (Rose Garden), License 8411 (Matron). Currently License 6002 (Rose Garden), is a very positive area for geochemical analyzes made after 6173 License (Mina Quintana).

The main objective of the practice is to determine gold anomalous areas of surface and groundwater, using information obtained in works of artisanal mining and exploration program in the department of geology of the company based on geochemical methods. The start of geochemical exploration program is the sampling of soil, where soil samples are collected at a depth interval of (0.50-0.70m) the outcome of this phase is to build a map of the surface soil anomalies. The next stage of exploration is the collection of soil samples in trenches, the location of each trench is based on the soil map at this stage are collected soil samples at a depth interval of (1.40-1.50m) the result is the selection of anomalous areas specifically. Then begins the stage of boreholes, which seeks the mineralized vein.

* Draft mode degree business practice.

**Faculty: Physicochemical School: Geology, Director: Luis Enrique Cruz Guevara.

INTRODUCCION

“El mundo está viendo a Colombia como una potencia energética y minera” (palabras del presidente de Colombia Juan Manuel Santos, 2012 en el Primer Congreso Anual de Minería a Gran Escala) como muestra de esto el sector aurífero se ha convertido en uno de los principales canalizadores de la dinámica de inversión en Colombia (Delgado, 2010). Sin embargo dado que los recursos minerales son no-renovables, la única alternativa que queda cuando se agotan es encontrar más (Oyarzun, 2011).

En Colombia, el Nordeste Antioqueño se ha caracterizado por ser una región con una gran presencia de depósitos auríferos (Rodríguez, 2007). Particularmente la empresa QUINTANA SAS tiene a cargo 8 licencias mineras, de las cuales 7 se encuentran en diferentes etapas de exploración y 1 en etapa de explotación la Licencia 6173 (Mina Quintana).

El Nordeste Antioqueño está caracterizado por la presencia de depósitos orogénicos auríferos, estos depósitos ocurren como consecuencia de la colisión de dos terrenos (márgenes convergentes) produciéndose complejos y diferentes sistemas de fallas/cizallas, por donde se desplaza el fluido acuoso rico en minerales de importancia económica. Según Echeverry et al. (2009) el área de interés está considerada como parte de dos terrenos tectónicos, el Tahamí en la parte occidental y Chibcha en la parte oriental, estos dos bloques lito-estructurales están constituidos por diferentes materiales de rocas que evolucionaron en diferentes condiciones geológicas y están separados por el sistema de fallas Otú-Pericos

El área de estudio está ubicada en el Noreste Antioqueño en el municipio de Remedios y el corregimiento de Santa Isabel (ver FIGURA 1). Comprenden la licencia de explotación N° 6173 (Mina Quintana) y las licencias de exploración N° 5698-745 (Quintana) y N° 8411 (Matrona) localizadas en el corregimiento de Santa Isabel; la Licencia de exploración 6002 (Rosaleda), localizada en la vereda Rosaleda del municipio de Remedios; la Licencia de exploración N° 7121 (Cabuyal) localizada en la vereda Cabuyal del municipio de Remedios; la licencia exploración N° 7218 (San Roque) está localizada en la vereda San Roque del municipio de Remedios y la licencia exploración N° 7123 (Vegachí) está localizada en la vereda Vegachí del municipio de Remedios.

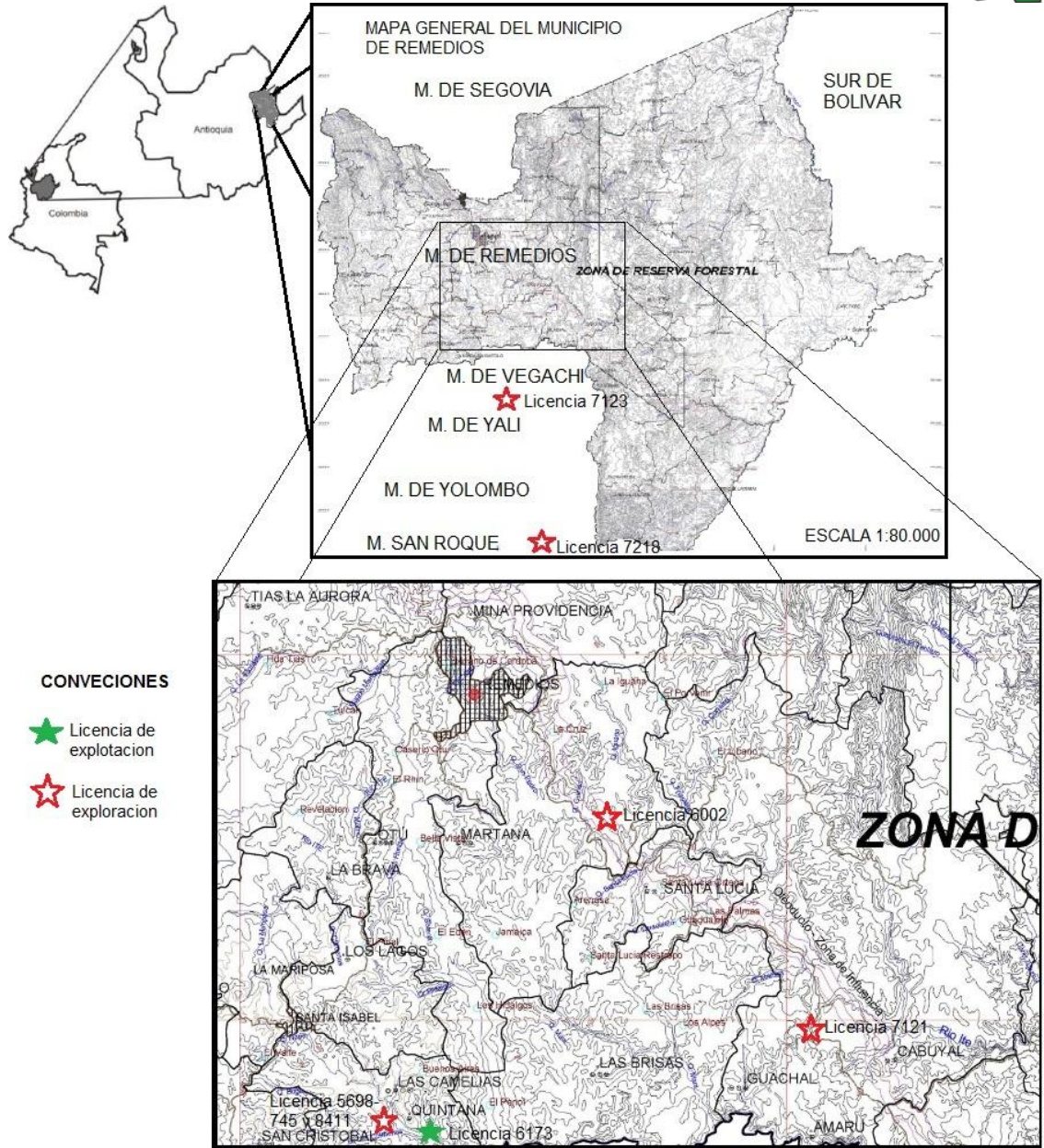


FIGURA 1. Localización de las diferentes licencias de estudio en el Nordeste Antioqueño. Modificado de Cardales (1962).

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la presencia de anomalías de oro mediante el estudio sistemático en tres concesiones en el área en referencia.

1.2 OBJETIVO ESPECIFICO

Recolectar muestras de suelos cada 40m a una profundidad de 0.50m.

Monitorear la elaboración de trincheras y recolectar muestras de suelo, roca y/o veta cada 2m a una profundidad de 1.50m.

Describir características principales en las muestras recolectadas; Suelos (presencia de fragmentos de roca, fragmentos de cuarzo, color, textura), fragmentos de cuarzo (dimensiones y profundidad a la que fue encontrado), roca (litología, alteraciones, mineralización y estructuras), veta (espesor, mineralización, rumbo y buzamiento).

Medir el porcentaje de recuperación de la perforación RQD.

Realizar el “logueo” de las muestras de perforación; descripción de litología, alteración, mineralización y estructuras.

Recolectar muestras de tunelería y frente.

Realizar la base de datos del trabajo en campo (data de suelos, data de trincheras, data de muestreo de tunelería y frente).

FIGURA 2. Mapa de geología regional. Modificado de Echeverry et al. (2009).

El sector oriental del área de estudio Según Echeverry et al. (2009) está caracterizado por el Batolito de Segovia de edad Jurásica que intruye rocas al parecer de edad Precámbrica tales como neises cuarzosos, mármoles y anfibolitas, es un cuerpo alargado en sentido Norte - Sur, constituido por dioritas con amplias variaciones texturales (masivas a ligeramente laminadas) y composicionales (cuarzo-diorita, granodioritas y gabros hornbléndicos), está cortado por diques andesíticos y porfídicos de hasta 10 m de espesor, con matriz afanítica gris verdosa y fenocristales de feldespato. Esta constituido de xenolitos provenientes de la inyección de diques andesíticos comunes en la región (Rodríguez, 2007).

Según Echeverry et al. (2009) el sector occidental está caracterizado por los stocks de Santa Isabel y La Culebra, y el Batolito Antioqueño (ver FIGURA 2 y 3) todas ellas son unidades correlacionables de edad Cretácea. Los stock de Santa Isabel y La Culebra intruyen una secuencia de neises feldespáticos, aluminicos y cuarzosos, de mármoles y anfibolitas. Según Álvarez et al. (2007) El stock de La Culebra, es un cuerpo de composición cuarzo diorítica, con textura fanerítica de grano medio, compuesto por plagioclasa y cuarzo, y como máficos hornblenda y biotita. El stock de Santa Isabel constituye un cuerpo batolítico alargado en dirección N25°W, paralelo a las estructuras regionales, localizado en la parte norte de la Cordillera Central. El stock de Santa Isabel es intrusivo en las rocas metamórficas paleozoicas del Complejo Cajamarca y a su vez, es intruído por rocas del Batolito Antioqueño, su límite sur lo constituye la Falla Otú. La composición predominante del stock de Santa Isabel es granodiorítica con variaciones locales a cuarzomonzodiorita con rocas de grano medio, estructura maciza, granular, débilmente foliada, de color gris claro, constituidas por cuarzo, ortoclasa, oligoclasa y biotita (González, 2001).

El Batolito Antioqueño es un cuerpo elongado trapezoidal que aflora en la parte axial de la Cordillera Central con un área de 7800 km², relacionado con cuerpos satélites de rocas metamórficas. Este cuerpo está caracterizado por su homogeneidad litológica, donde cerca del 92% de él está constituido por tonalitas - granodioritas rara vez cuarzo monzonita que difieren poco de un lugar a otro, con textura fanerítica de grano medio a grueso hipidiomórfica granular (González, 2001). Según Ordoñez et al. (2011) El origen y ambiente de formación del Batolito

se asocian con el proceso de subducción de la placa Nazca por debajo de la placa Suramericana.

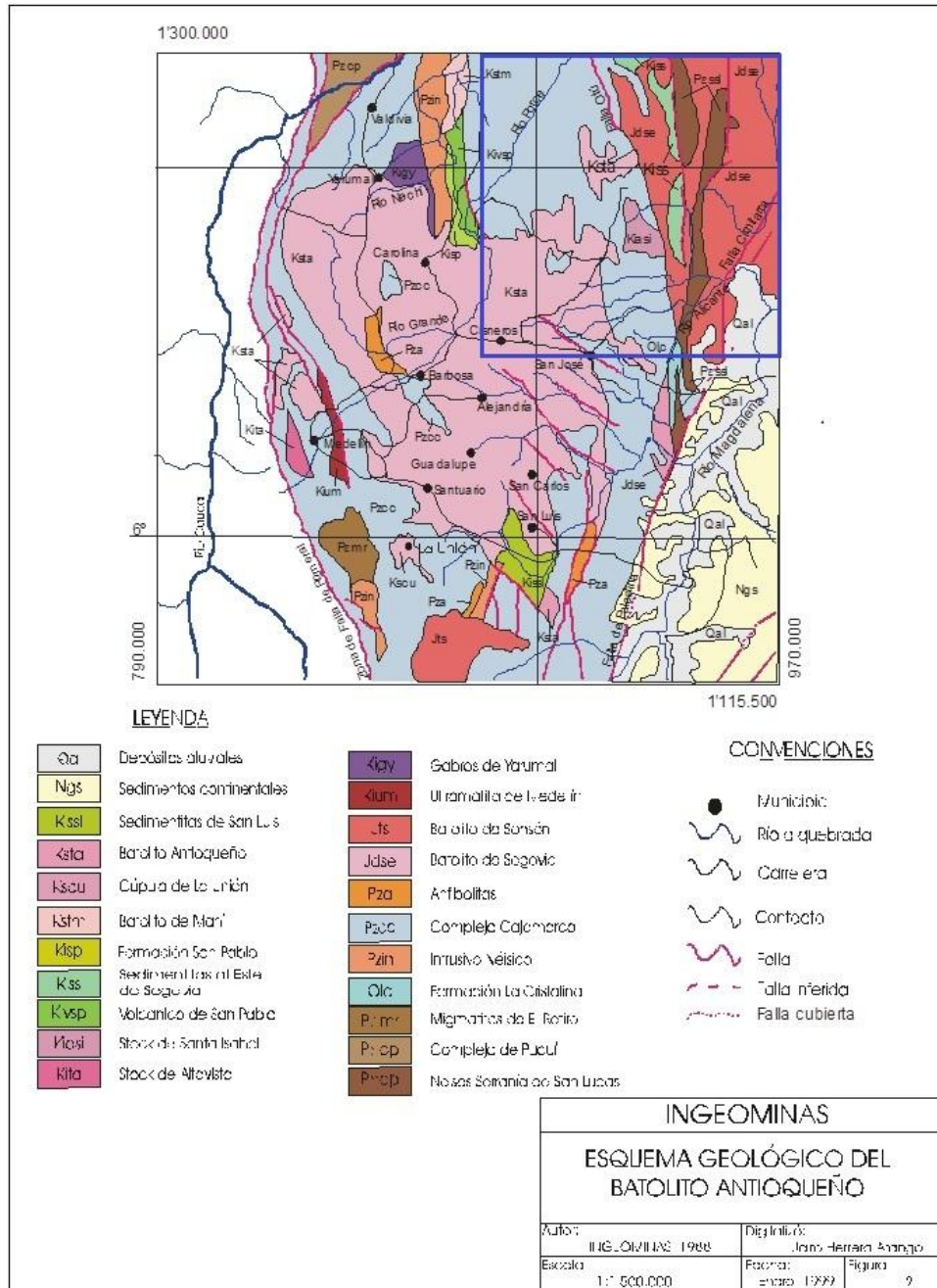


FIGURA 3. Esquema geológico del batolito antioqueño. Modificado de González (2001).

En base a las evidencias en campo y bibliografía referenciada, el depósito en estudio está clasificado como yacimiento tipo orogénico; vetítico aurífero (ANEXO B).

2.2 GEOMORFOLOGIA

La geomorfología es bastante variable desde topografía plana (depósitos aluviales) hasta escarpes verticales con relieve quebrado producto de la meteorización del Batolito de Segovia y de los stocks de Santa Isabel y La Culebra, que generan una serie de colinas, quebradas con valles angostos y drenaje dendrítico (ver FIGURA 4).



FIGURA 4. Sistema montañoso típico del Batolito de Segovia en el área de estudio, donde se observa claramente el sistema dendrítico.

2.3 TECTONICA REGIONAL

La tectónica regional inicial del área de estudio según Ordoñez et al. (2001) es el escenario de la convergencia de la placa nazca por debajo de la placa Suramericana, esta dinámica tectónica es la razón principal de la presencia de los sistemas de fallas en la cadena montañosa andina. En la región de estudio las megazonas de falla Otú-Pericos, Palestina son las que controlan el ascenso del magma a los niveles corticales superiores.

El área de estudio se encuentra en el flanco oriental de la Cordillera Central Colombiana dominado por el sistema de fallas Otú-Pericos con rumbo principal $N15^{\circ}W$ y buzamiento $50^{\circ}E$, este sistema de fallas es la estructura más antigua de la Cordillera Central, con una longitud de 125Km y un movimiento sinistral de 65 Km (Duque, 2007). El trazo de esta falla es el límite entre rocas del Precámbrico y del Ordovícico al este que yuxtaponen rocas de arco de isla al Oeste. La zona norte de la falla se despliega en varias fallas sinestrales-inversas alrededor del Rio Nechí (Rodríguez, 2007). Esta falla armoniza con la falla Santa Marta-Bucaramanga por ser de rumbo izquierdo y por tener sus trazos paralelos (Duque, 2007).

En la región de estudio se observa una clara tendencia N-S con ligeras deformaciones, que cortan un sistema estructural antiguo NW-SE y NE-SW que no presentan deformación (ver FIGURA 5) las cuales son sistemas consecuencia de los principales movimientos cinéticos (Rodríguez, 2007).

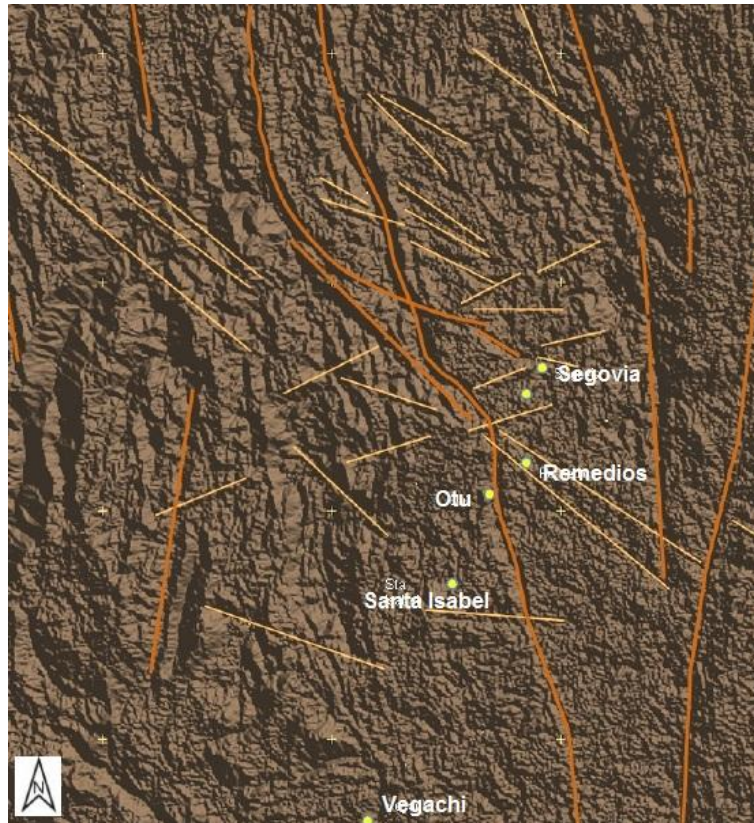


FIGURA 5. Interpretación tectónica de la región del Nordeste Antioqueño. Tomado de Rodríguez (2007).

Los lineamientos con una dirección NNW-SSE (F1) de primer orden, implican eventos tectónicos regionales relacionados con la acreción de los terrenos Tahamí y Chibcha, y post-reactivación de movimientos transtensionales. Se presentan característicamente por lineamientos alargados con un rumbo aproximadamente N-S, con bordes regionalmente sinusiosos bordeados por mineralización filoniana relacionada con reactivaciones del sistema de fallas Otú-Pericos. Posiblemente es consecuencia de un evento heredado de una sutura de terrenos reactivada de manera transcurrente (Rodríguez, 2007).

Los lineamientos con una dirección NNE-SSW (F2) de segundo orden, son característicos por ser alineamientos alargados que cortan el sistema F1. Implica manifestación de mineralización vetítica en diques de pórfidos andesíticos. Los

lineamientos con una dirección NE-SW (F3) y NW-SE (F4) de tercer orden, están constituidos por vetas mineralizadas y diques concordantes. Caracterizados por la presencia de una serie de fallas transversales a la mineralización (Rodríguez, 2007).

Es posible concluir una posible evolución estructural de la zona, partiendo del hecho del contacto tectónico de terrenos alóctonos (Tahamí y Chibcha) con metamorfitas (mármoles, cuarcitas y neises) y la intrusión de los batolitos (Segovia) y Stocks (Santa Isabel y La Culebra) a lo largo de la Falla Otú-Pericos, caracterizada por la acreción de terrenos y posterior fallamiento inverso y transcurrente regional (F1). Esta dinámica tectónica afecta a los terrenos de su alrededor generando estructuras semi-paralelas al rumbo de las estructuras regionales (Rodríguez, 2007).

Como consecuencia de una convergencia oblicua se presenta un sistema de fallas que intercepta el sistema F1 y superpone subsistemas en un ambiente rígido F2, F3 y F4, permitiendo la formación del sistema de cizallas asociado al ascenso, removilización y remplazamiento del magmatismo tipo filón y finalmente mineralización vetítico actual (Rodríguez, 2007).

Echeverry et al. (2009) presenta el modelo de evolución estructural vetítico para el distrito minero Remedios-Segovia (ver FIGURA 6) donde R corresponde a la estructura tipo Riedel o singenética la cual tiene la misma dirección de la falla generada por el esfuerzo máximo (σ_1), R1 corresponde a la Anti-Riedel o Antitética la cual tienen sentido contrario a la falla, estas dos corresponden al sistema de estructuras de segundo orden, mientras que las de tercer orden corresponderían a las tipo X y P; la estructura tipo Y sería la estructura singenética donde se refleja el máximo esfuerzo y deformación.

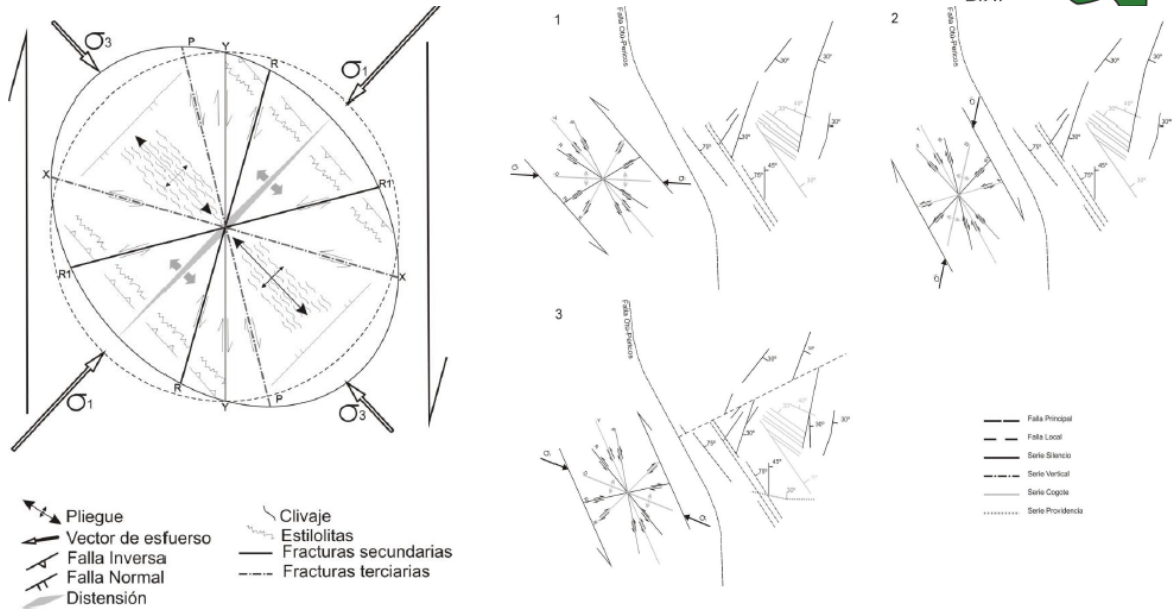


FIGURA 6. Modelo de evolución estructural vetítico del depósito en base al modelo tipo Riedel. Tomado de Echeverry et al. (2009).

Para Echeverry et al. (2009) la mineralización filoniana aurífera del área del distrito minero de Remedios (el área de estudio hace parte del distrito minero de Remedios) está controlada estructuralmente y sobreimpuesta a estructuras regionales en la dinámica cinética del sistema de falla de Otú-Pericos (ver FIGURA 7).

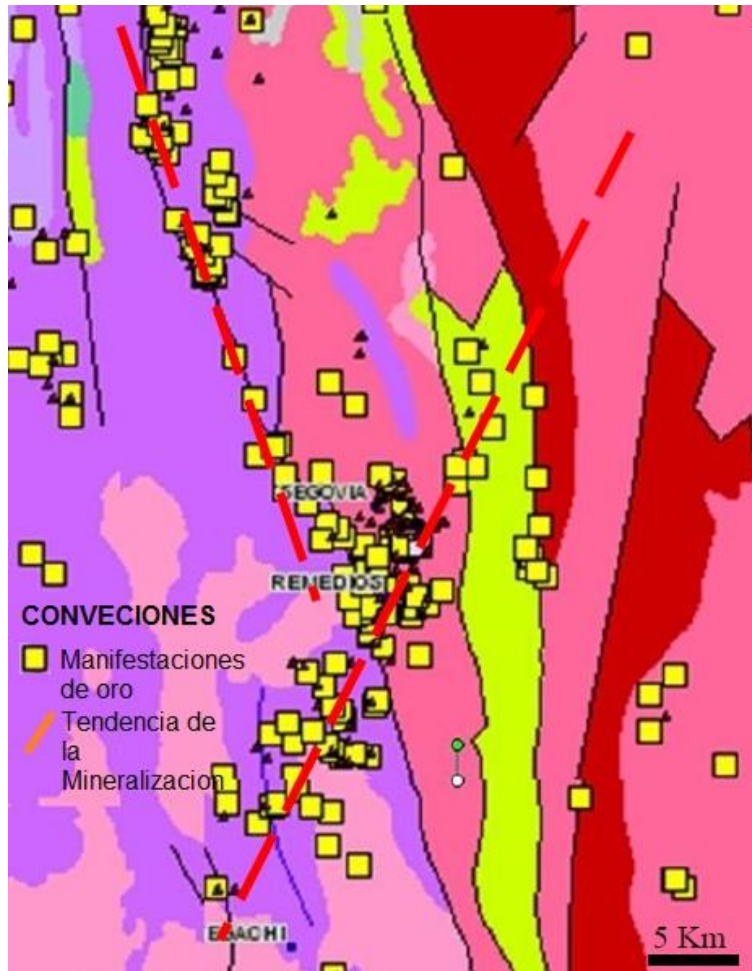


FIGURA 7. Manifestaciones de oro de veta y su relación con los sistemas de fracturas regionales. Modificado de Rodríguez (2007).

2.4 PARAGENESIS MINERAL ASOCIADA AL DISTRITO MINERO SEGOVIA-REMEDIOS (DMSR)

La paragénesis mineral presente en el distrito minero Segovia-Remedios esta descrita en Manco (2010) este autor reconoce 3 fases minerales (ver FIGURA 8).

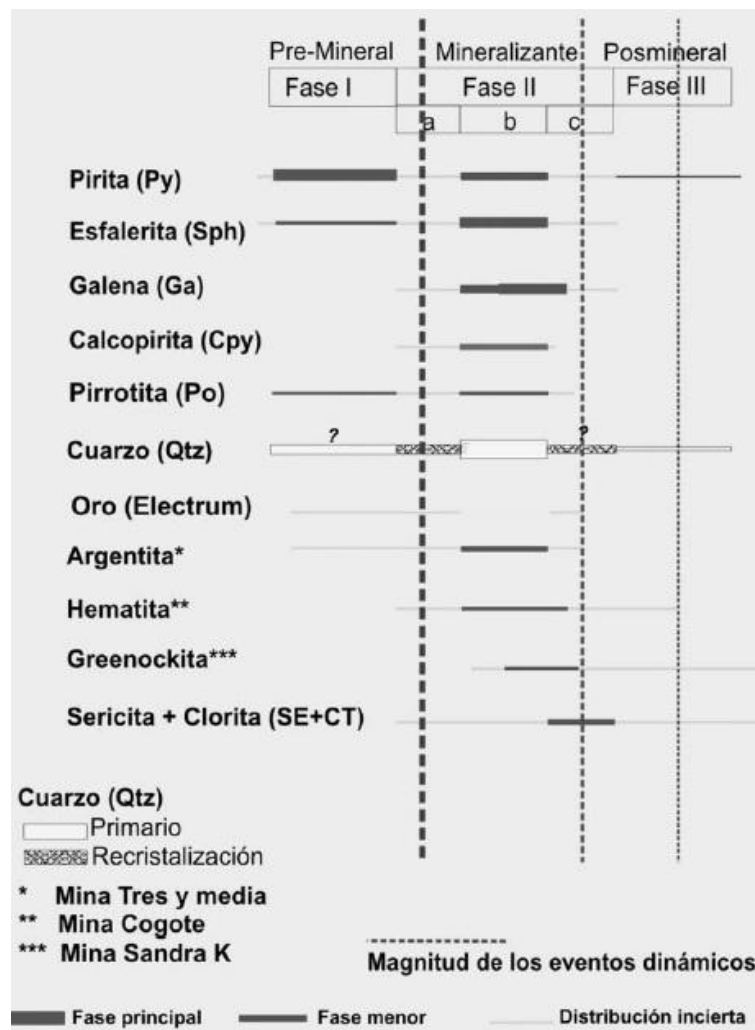


FIGURA 8. Paragénesis global de las mineralizaciones del DMRS. Tomado de Manco (2010).

De la FIGURA 8 detalle la presencia de la pirita y el cuarzo en las tres fases minerales, aunque el cuarzo recristaliza en el transito de una fase a otra por su parte la pirita inicia en Fase I con una abundante presencia y a partir que avanzan las fases minerales su cantidad también va disminuyendo.

Según Manco (2010) la Fase II (Mineralizante) es donde ocurren las condiciones favorables para la ocurrencia de mineralización aurífera por lo tanto esta Fase II se dividió en tres etapas de desarrollo para detallar su evolución. Etapa (a) evento cataclástico - deformacional que generó el brechamiento de la pirita generada en la Fase I, además de la recristalización de gran cantidad del cuarzo. Etapa (b) precipitación de gran volumen de esfalerita + galena + cuarzo + calcopirita y cantidades menores de pirrotita \pm pirita \pm Greenockita (CdS) \pm hematita. Esta etapa es muy importante económicamente ya que controló la ocurrencia de cantidades significativas de Au (Electrum) + Ag (argentita) donde los cristales de pirita de la fase I (Pi) al formar arreglos micro estructurales favorables en la etapa b, producto del brechamiento, podrían haber actuado como barreras fisicoquímicas que permitieron la precipitación del oro y los sulfuros. Etapa (c) se genera un evento de mediana distribución (Hidrotermal?? > Cataclástico) el cual genera la ocurrencia de Sericita + Clorita y produce deformación en los minerales anteriormente formados; este podría estar asociado parcialmente? con la generación de Greenockita (CdS).

Por lo tanto la pirita y el cuarzo son dos minerales claves en la precipitación de la mineralización aurífera; mientras que la pirita brechifica permite la precipitación del oro y los sulfuros, actuando como una barrera fisicoquímica. El cuarzo por su parte recristaliza y como consecuencia fortalece el sistema ante los eventos cataclásticos - deformacionales que se generen.

2.5 EVOLUCION GEOLOGICA DEL DEPÓSITO

La evolución geológica del depósito es el resultado de la acción conjunta del magmatismo y la tectónica; el magmatismo es la fuente directa y constituye los mecanismos fisicoquímicos para la generación de depósitos de minerales mientras que la tectónica se encarga de controlar la producción, el transporte y el emplazamiento de los fluidos magmáticos.

Toussaint (1993) menciona que la construcción del territorio colombiano se produjo por varias acreciones sucesivas de terrenos alóctonos con basamentos tanto continentales como oceánicos (ver FIGURA 9): (1) Durante el evento Precámbrico tectometamórfico Nickeriense, el Terreno Andaquí con basamento continental se acrecionó al Escudo de Guayana formando el Bloque Autóctono. (2) debido a la orogenia caledoniana fue posible la acreción del Terreno Chibcha con basamento continental al continente de Gondwana durante una colisión entre Norteamérica y Sudamérica. (3) El Terreno Chibcha se unió al Bloque Autóctono de Colombia a finales del Paleozoico por medio de la paleo-falla de Guaicáramo formando el Oriente Colombiano. (4) El Mesozoico es un periodo donde ocurre la organización del occidente Colombiano y donde son protagonistas dos ciclos plutónicos: Durante el Jurásico, un cinturón magmático intruyó el borde occidental del oriente colombiano con importantes mineralizaciones de oro en los batolitos de Segovia y de Ibagué, los cuales fueron probablemente el resultado de una subducción al margen occidental del oriente Colombiano (Rodríguez, 2007). Para el Cretáceo ocurre un segundo ciclo a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Central (incluyendo el Batolito Antioqueño). Durante el Cretácico el Terreno Calima con basamento oceánico se amalgamó al Terreno Tahamí con basamento continental (ver FIGURA 10) pero este terreno compuesto no se acrecionó todavía al Oriente Colombiano. (5) El Terreno compuesto Calima - Tahamí formado por la amalgamación cretácica (ver FIGURA 9) se acrecionó al Oriente Colombiano a finales del Cretácico o principios del Cenozoico. La unión se realizó por medio de la falla de Otú – Pericos (área de estudio) por lo tanto este sistema de falla es el límite entre dos terrenos completamente diferentes, pero unidos por la dinámica tectónica (ver FIGURA 11).

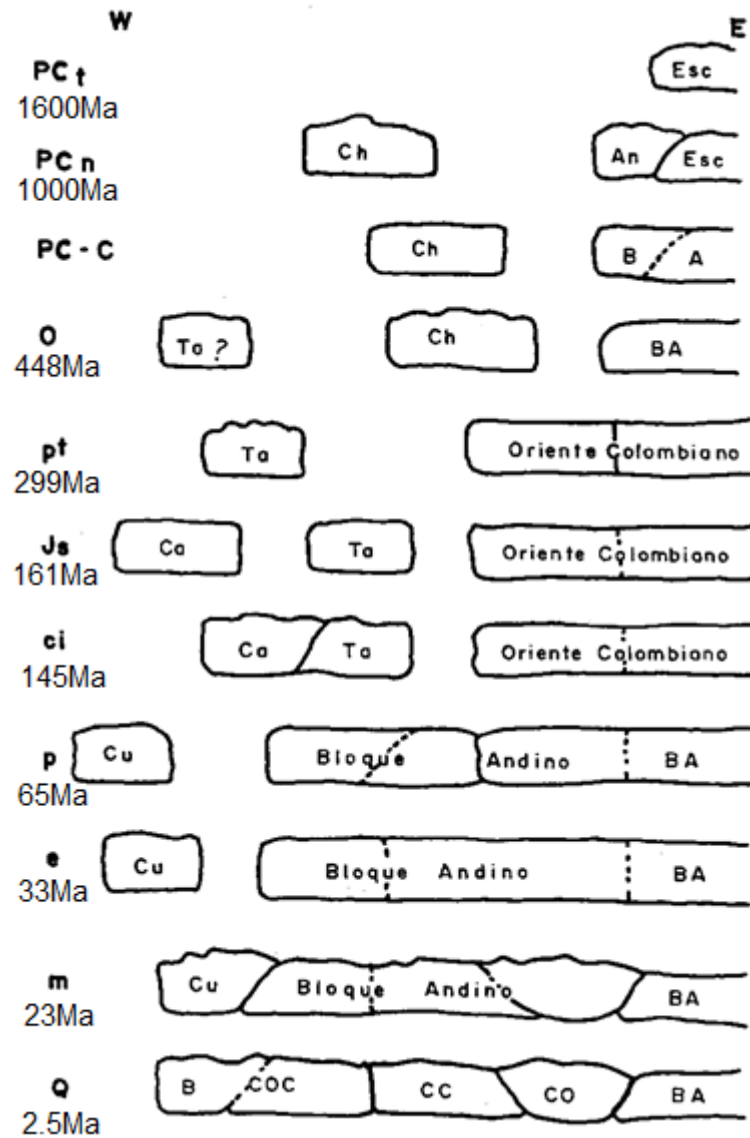


FIGURA 9. Modelo evolutivo para el territorio Colombiano. Modificado de Toussaint (1993).

De la FIGURA 9 se tiene que: **An:** Terreno Andaquí, **Ch:** Terreno Chibcha, **Ta:** Terreno Tahamí, **Ca:** Terreno Calima, **Cu:** Terreno Cuna, **BA:** Bloque Autóctono,

CO: Cordillera Oriental, **CC:** Cordillera Central, **COC:** Cordillera Occidental, **B:** Serranía de Baudó, **PCt:** Evento transamazónico, **PCn:** Evento nickeriense, **C:** Cámbrico, **O:** Ordovícico, **pt:** Permo-triásico, **Js:** Jurásico superior, **ci:** Cretácico inferior, **pa:** Paleoceno-Eoceno, **m:** Mioceno, **Q:** Cuaternario.

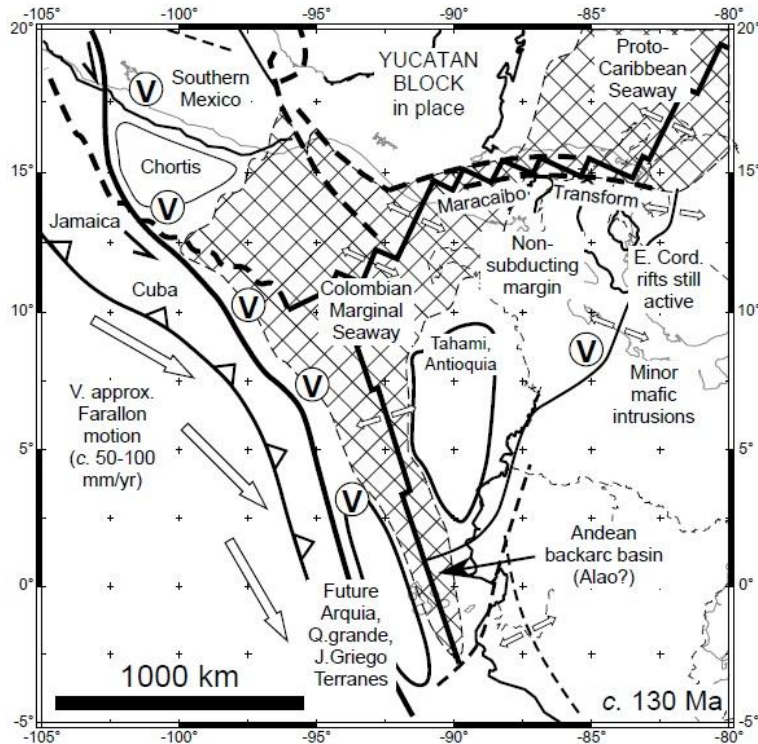


FIGURA 10. Reconstrucción de hace 130 Ma (Cretáceo Inferior) observe la paleo ubicación del Terreno Tahamí, Antioquia. Tomado de Kenna (2009).

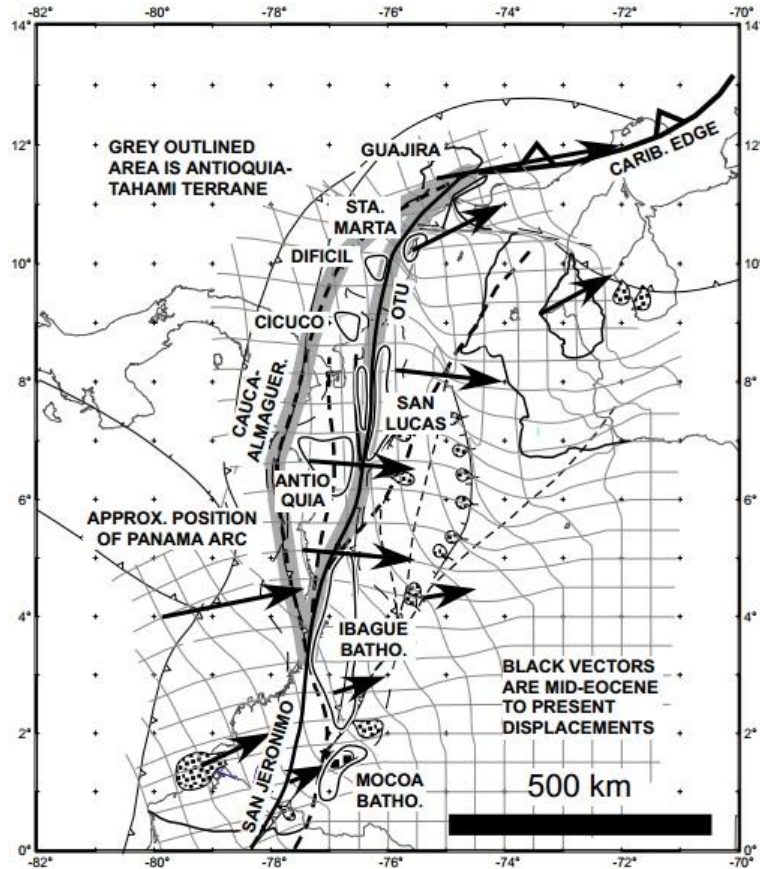


FIGURA 11. Reconstrucción del Norte de los Andes hace 46 Ma, aproximadamente Eoceno medio con base en la interpretación palomagnética. Tomado de Kenna (2009).

Según Goldfarb et al. (2001) los terrenos acrecionados en el Paleozoico localizados en América del Sur, han sido erodados durante la subducción del Mesozoico-Cenozoico (ver FIGURA 67) entre la placa de Nazca debajo de la migración hacia el oeste de la placa Sur Americana (ver FIGURA 12).

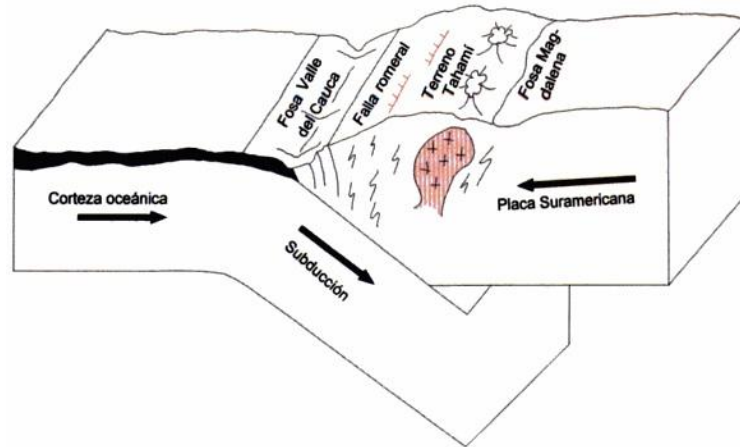


FIGURA 12. Subducción de la placa del pacifico bajo el basamento continental. Tomado de Flórez (2003).

3 MARCO TEORICO

3.1 EXPLORACION GEOQUIMICA

La exploración geoquímica es una herramienta de búsqueda de la mineralización aurífera, la geoquímica aplicada identifica y localiza contenidos anormales de uno o varios elementos químicos presentes en halos o aureolas de dispersión primaria y/o secundaria. De tal manera, que cuando se identifique y se conozca su distribución sea posible localizar yacimientos asociados a ambientes geológicos favorables para su formación. Para ubicar una zona anómala se parte del conocimiento geológico regional, en la cual se reconocen las unidades geológicas, los cinturones mineralizados y las zonas de explotación minera. Continúa con etapas de exploración para identificar la zona anómala en base a métodos geoquímicos para delimitar la zona de mineralización (zona anómala). Posteriormente viene la ubicación a profundidad del cuerpo vetítico mineralizado a través de perforaciones exploratorias (<http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>).

Durante el análisis geoquímico de muestras es posible que éstas no representen auténticamente los valores geoquímicos buscados por efectos de contaminación. En algunos casos esta contaminación puede ser detectada inmediatamente, por ejemplo cuando los datos no caen en el patrón geoquímico general. En otros casos la contaminación que da la apariencia de una anomalía es reconocida solo después de considerables esfuerzos y gastos. Los principales rasgos característicos de la contaminación en suelos: (1) la anomalía solo se presenta superficialmente y (2) la geometría de una anomalía causada por contaminación puede no corresponder con la evidencia geológica es decir encontrar áreas anómalas en zonas donde no exista una marcada presencia de sistemas de fallas, donde las unidades existentes no muestren evidencia de un posible evento magmático - tectónico que de origen a yacimientos (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>). Las principales fuentes de contaminación en Geoquímica son:

Minería: los fragmentos, el polvo de la mena, de las rocas y de las operaciones de beneficio, son fuentes de contaminación de la actividad minera actual o antigua. Los sulfuros, comúnmente pirita en los terreros de las minas son especialmente susceptibles de oxidación y producen aguas ácidas las cuales son capaces de lixiviar las pequeñas cantidades de minerales mena que aun no han sido recuperadas completamente por los procesos de beneficio.



Agrícola: el uso de insecticidas en aerosol, fertilizantes y otros materiales para incrementar la productividad de los campos agrícolas han generado efectos en la actividad de la exploración geoquímica en algunas áreas.

Las barreras geoquímicas son cambios abruptos en las condiciones físico-químicas en el medio por el cual se desplazan los elementos durante su migración, principalmente son: temperatura, presión (descompresión), pH (acidez-alcalinidad), Eh (oxidación-reducción), presencia de sulfatos y/o carbonatos, adsorción, evaporación y elementos mecánicos (cambios en la velocidad de flujos de agua) (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>).

3.2 PROCESO DE DISPERSION GEOQUIMICA

La dispersión geoquímica es el proceso de distribución o redistribución de elementos a causa de agentes físicos y/o químicos (ver FIGURA 13). Los procesos de dispersión están relacionados con el ambiente geoquímico, el cual está dividido en: (1) ambiente geoquímico primario: áreas que se extienden por debajo de los niveles de circulación de aguas meteóricas hasta aquellos procesos de origen profundo como son el magmatismo y el metamorfismo y (2) ambiente geoquímico secundario: procesos superficiales de erosión, formación de suelos, transporte y sedimentación (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>).

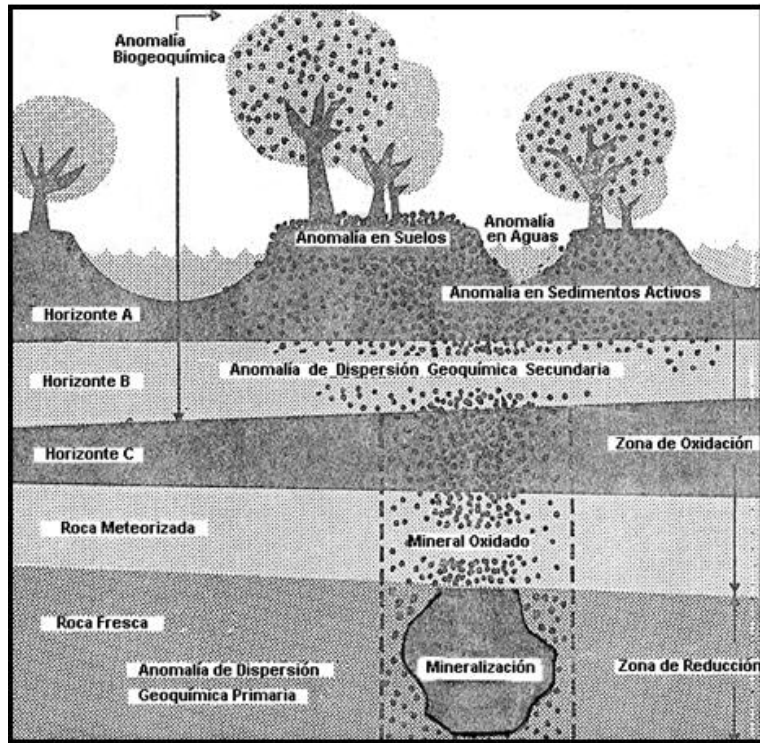


FIGURA 13. Manifestación de una Mineralización en Superficie. Tomado de (<http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>)

Existen factores que participan en la movilidad de los elementos, tales como: tipo y tamaño del depósito, composición y tenor de la mena, si aflora y está sometido a procesos erosivos o está oculto, contraste geoquímico que presente con la roca caja, presencia de barreras geoquímicas para los elementos de interés económico, movilidad de los elementos en un ambiente oxidante o reductor, ambiente natural y geoquímico existente (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>).

3.2.1 Dispersión primaria

La dispersión primaria es generada bajo superficie en ambientes profundos sobre rocas frescas. La movilidad de los elementos en ambientes profundos está influenciada por altas temperaturas y presiones, restringida a la circulación de fluidos y bajo contenido de oxígeno libre. Los elementos químicos se dispersan y generan aureolas indicadoras de alteración hidrotermal y zonación mineral alrededor del depósito mineral (<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/MarcoNuevo.htm>).

La dispersión hidrotermal depende principalmente de la naturaleza y origen de los fluidos hidrotermales, los cuales se presentan en desequilibrio químico con las rocas adjuntas. El resultado final es una difusión de los contenidos de metal en la roca de caja, generando aureolas que tienden a decrecer en forma logarítmica a mayor distancia del depósito. La dispersión es posible debido al flujo de soluciones mineralizadas a través de fracturas donde la dispersión tiende a formar una distribución más extensa e irregular de los metales. En general, se presenta una migración de los metales a partir del depósito mineral, controlado básicamente por gradientes de temperatura y presión, composición mineral del depósito, intensidad de las fracturas de la roca y movimientos regionales (ver FIGURA 14) (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>).

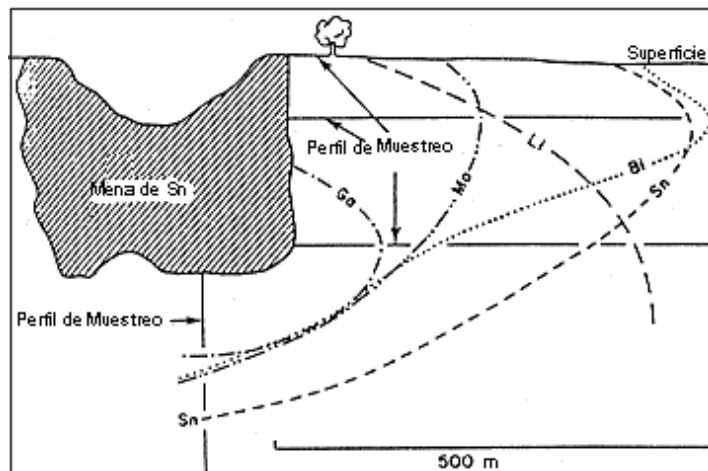


FIGURA 14. Representación de una Anomalía Geoquímica Hidrotermal. Tomado de (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>).

El halo o aureola primaria es el área que rodea a la zona central del depósito, en la cual el contenido de elementos de interés disminuye a medida que se acerca a la roca caja (ver FIGURA 14). Algunos de los factores principales que determinan el tamaño y la forma de un halo primario son: condiciones de movilidad de los elementos en solución, volatilidad de los elementos, tendencia a formar minerales extraños, factores físicos tal como viscosidad y presión del magma, tendencia de los fluidos a reaccionar con la roca huésped (como calizas) y Micro-fracturas en las rocas (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>).

Es posible clasificar 2 tipos de halos primarios con respecto al tiempo de emplazamiento: (1) singenéticos; formados en forma contemporánea con la roca caja y (2) epigenéticos; formados después que la roca ha cristalizado, los halos primarios epigenéticos son consecuencia de la introducción de soluciones mineralizadas a lo largo de fracturas, fallas y superficies de debilidad en donde son emplazadas esas soluciones (<http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/MarcoNuevo.htm>).

En exploración geoquímica existen elementos indicadores del depósito que se está explorando, cada manifestación mineral está caracterizada por una asociación geoquímica de elementos que la tipifica, algunos de los cuales son principales y de interés económico; Elementos indicador “*target element*”. Los demás elementos son secundarios formados por la meteorización de los yacimientos minerales, constituidos por óxidos hidratados de Fe, Mn, arcillas y minerales metálicos secundarios, cuya cantidad depende de los iones presentes en las soluciones, del pH y Eh; elemento explorador “*pathfinder element*” (<http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>).

3.2.2 Dispersión secundaria

La dispersión secundaria es generada en superficie en ambientes superficiales sobre rocas meteorizadas, por lo tanto el proceso de meteorización, erosión y sedimentación en superficie son los principales procesos en la movilidad de los elementos químicos en ambientes secundarios. Dependiendo de la forma y la relación con la fuente de metales (veta mineralizada) los patrones de dispersión secundaria se presentan en halos o aureolas. Si la migración se ha desarrollado sobre su fuente, el patrón se denomina supra-yacente, pero si la migración esta desplazada en comparación con la fuente, el patrón se denomina lateral. (<http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/MarcoNuevo.htm>).

Escalante (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>) definió los siguientes factores que determinan el tipo y magnitud de la dispersión secundaria son:

La solubilidad y la estabilidad de los compuestos: los materiales son sensibles al pH del agua. La mayoría de los metales son solubles en ambiente ácido y tienden a precipitarse como hidróxidos a mayores valores de pH. El cuarzo es un claro ejemplo de los minerales de fases poco solubles, de baja movilidad por el contrario las arcillas, son minerales de alta movilidad que se disuelven en agua y son transportadas en suspensión.

El Potencial Redox: relacionado con la conducta de los elementos metálicos, determina los cambios en el estado de oxidación del ion que implique distinta solubilidad (por ejemplo: Fe^{+2} soluble a Fe^{+3} que se hidroliza y forma $\text{Fe}(\text{OH})_3$ insoluble) y/o modifica la cantidad de otro elemento (por ejemplo: la formación de S^{-2} a expensas de SO_4^{-2} en ambientes reductores) origina la precipitación como sulfuro del Fe.

La dispersión física; debida a movimientos gravitatorios del suelo (la reptación y deslizamientos) que entierran y cubren zonas caracterizadas por elementos con altos contenidos.

La circulación de agua subterránea puede contribuir a la migración de elementos con contenidos altos que representan una anomalía geoquímica.

La geología es importante debido a factores físicos y estructurales que pueden controlar el paso de las soluciones mineralizantes.

El relieve controla la erosión.

Los procesos biológicos, influyen por su capacidad para disolver y para traer a la superficie los elementos que captan con sus raíces.

En el análisis de las anomalías secundarias se debe tener en cuenta aquellas anomalías producidas por lixiviación supergénica, porque es un proceso que redistribuye los metales. Esto ocurre principalmente hacia la superficie con los metales más móviles generando una falsa anomalía (<http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm>).



4 PROCEDIMIENTOS EJECUTABLES LICENCIA DE EXPLOTACIÓN N° 6173 (MINA QUINTANA)

4.1 MARCO LEGAL MINERO

Las compañías QUINTANA SAS y EATON GOLD SAS son los titulares de 10 contratos de concesión en el distrito minero de Segovia (ver FIGURA 15) de los cuales 9 son para la exploración de minerales metálicos y uno para la explotación de minerales metálicos (Licencia 6173, Mina Quintana). Todas las áreas bajo el control de la empresa están en diferentes etapas de exploración en base a métodos geoquímicos.

La Mina Quintana (Licencia 6173) está ubicada en la vereda las camelias, paraje quintana jurisdicción del municipio de Remedios departamento de Antioquia; dentro del título minero # 6173 de INGEOMINAS entregado a 30 años para exploración y explotación, localizado en la plancha del IGAC # 117-IV-B (Naranjo, 2008).

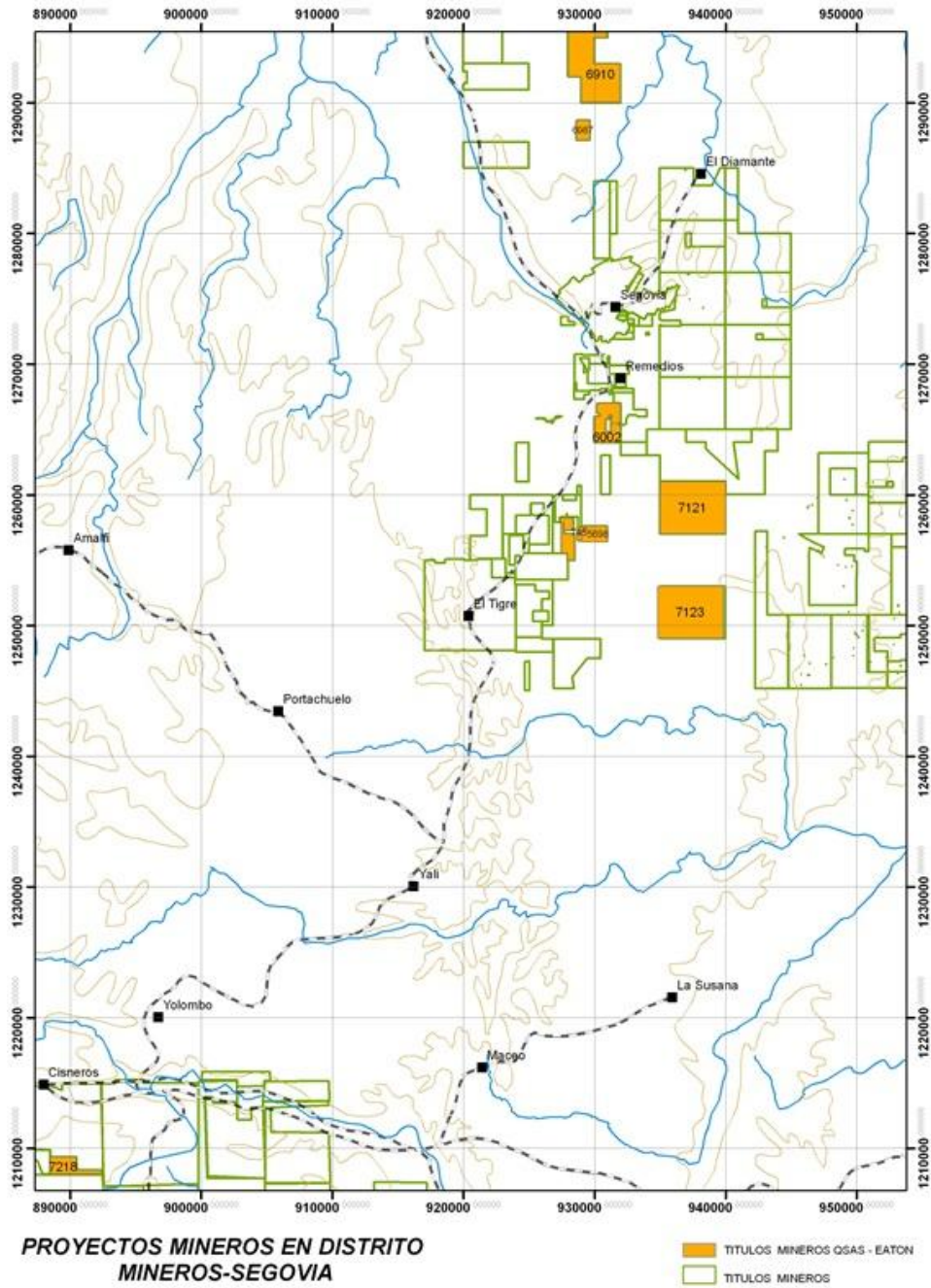


FIGURA 15. Mapa de los proyectos mineros entre los municipios de Cisneros hasta Remedios. Tomado de Naranjo (2008).

4.2 ETAPAS DE EXPLORACION MINERAL EN GEOLOGIA

Las etapas de exploración mineral en geología tienen como principal objetivo de encontrar una región geológica donde el depósito mineral se encuentre en tenores altos y donde la explotación sea fácil, rápida y económica. Naranjo (2008) definió las siguientes etapas de exploración mineral:

Etapa I (prospección): un prospecto es un lugar que muestra indicios de contener un yacimiento mineral (Oyarzun, 2011) en base a la identificación de la geología del área de estudio (Estratigrafía, Geología estructural, Geología económica, Mineralización).

Etapa II (exploración regional): análisis del estado actual del proyecto, en esta etapa se ejecuta la exploración “*Greenfield*”.

Exploración “*Greenfield*” (campos inexplorados, ubicados en zonas con tradición minera) este es el caso de las siguientes licencias: Vegachí (Licencia 7123), Rosaleda (Licencia 6002), Cabuyal (LICENCIA 7121), San Roque (Licencia 7218) y Quintana (5698-745). Este tipo de exploración se basa en:

El método Geoquímico: consiste en exploración en superficie, en base a análisis geoquímicos es posible ubicar el área de anomalía mineralizada de interés económico.

Etapa III (exploración preliminar): determinación del estado actual del proyecto, en esta etapa se ejecuta la exploración “*Brownfield*”.

Exploración “*Brownfield*” es la caracterización de anomalías geoquímicas de superficie en áreas donde exista algún conocimiento (por ejemplo: explotación minera abandonada) que permita identificarlas como potencialmente prospectivas, este es el caso de las siguientes licencias: licencia Quintana (Licencia 6173-8411) y Rosaleda (Licencia 6002). El método “*Brownfield*” comprende:

Recolección de muestras de suelo: las licencias son polígonos que se dividen en una malla de muestreo, donde se recolectan muestras de suelo a un intervalo de profundidad entre 0.50-0.70m y a una distancia establecida (la distancia depende del grado de exactitud y precisión que se desee manejar). El resultado de esta actividad es la elaboración del mapa de anomalías de muestras de suelos.

Análisis Geoquímico: las muestras recolectadas son analizadas por la técnica LA-ICP-MS “*Laser ablation microprobe + inductively coupled plasma mass spectrometry*” la cual es una técnica de muy alta precisión, el proceso de

preparación de la muestra se realiza en poco tiempo y de un costo económico relativamente bajo si la comparamos con otras técnicas de detección mineral. Según Carles et al. (2010) la técnica LA-ICP-MS es usada en la determinación de elementos trazas en minerales, es usada en exploración o explotación minera como: a) análisis a micro-escala de elementos preciosos presentes como trazas en la estructura del mineral (por ejemplo: oro invisible en la estructura de pirita o arsenopirita) b) análisis a micro-escala de elementos significativos en minerales indicadores (por ejemplo, análisis de Ni en granate de procedencia kimberlítica, para conocer la temperatura del manto subyacente, etc.).

Construcción de mapa de anomalías de suelos: en base a los resultados obtenidos del análisis geoquímico se elabora un mapa de anomalías usando el software de modelamiento VULCANSP3.

Identificación de áreas anómalas de prospección: el mapa de anomalías de muestras de suelos, es una herramienta que ubica las posibles áreas donde se espera obtener valores anómalos de oro. El geólogo interpreta y relaciona los valores anómalos y las características geológicas del área (estructuras regionales, unidades tectónico-estratigráficas...) con el objetivo de ubicar los lugares para la construcción de trincheras (zanjas).

Recolección de muestras de Trincheras: en esta actividad se recolectan muestras de suelo a un intervalo de profundidad entre 1.40-1.50m, en un canal continuo cada 2m.

Análisis Geoquímico: las muestras recolectadas son analizadas por la técnica LA-ICP-MS.

Construcción de mapa de anomalías de trincheras: en base a los resultados obtenidos del análisis geoquímico se elabora un mapa de anomalías usando el software AutoCAD 2011.

Identificación de áreas anómalas preliminar: el mapa de anomalías de trincheras, es una herramienta que ubica los puntos exactos que registran el mayor valor anómalo. El geólogo interpreta y relaciona los valores anómalos y las características geológicas del área con el objetivo de ubicar el sitio de inicio del blanco de perforación.

Programa de perforación o sondeos mecánicos (DDH): esta técnica permite obtener muestras del subsuelo a profundidades variables.

Descripción de núcleos (Logueo) y estudio Geotécnico: el geólogo debe describir las características geológicas de cada pozo con el objetivo de obtener conocimiento detallado acerca del material en profundidad. Además,

se hace un estudio geotécnico de cada pozo con el objetivo de determinar el grado de estabilidad del material.

Recolección de muestras de núcleos y análisis geoquímicos: el geólogo identifica en el pozo intervalos con características indicativas de posibles zonas anómalas (veta de cuarzo con o sin mineralización, o zonas de cizalla). Estos intervalos de muestra son la mitad recolectados, una mitad se deja en las cajas de los núcleos como testigo y la otra se envía a análisis geoquímicos.

Correlación de Datos geológicos y geotécnicos: en base a datos geoquímicos de los intervalos de los pozos, la litología descrita y los datos geotectónicos, se correlacionan los pozos realizados en una Licencia. Con el objetivo de identificar la fuente de la anomalía geoquímica superficial; veta mineralizada.

Etapa IV (exploración para indicar recursos):

Programación de galerías exploratorias: con el objetivo de evaluar el potencial geológico minero dentro de la mina se realizan galerías exploratorias, se debe determinar el tipo de galería (inclinado, cruzadas, guías, etc.) y detallar la densidad y el espaciamiento de muestreo.

Programa de perforación dentro de la mina: se perfora dentro de la mina, con el objetivo de evaluar el potencial minero e identificar la veta principal de la mina.

4.3 ETAPA DE EXPLOTACION MINERAL EN GEOLOGIA

Las etapas de explotación mineral en geología tienen como principal objetivo de mantener control de la dirección de explotación por medio del análisis de métodos geoquímicos (ubicación de anomalías) y datos estructurales (zonas de cizalla, dirección, rumbo de la veta, dique...) y geológicos (cambios de litología, contactos...) en mina. Naranjo (2008) enunció las siguientes responsabilidades del geólogo en mina:

Voladura y Estabilidad: el geólogo, identifica las posibles zonas de debilidad en la mina subterránea (zonas de cizalla y fractura) lo cual es utilizado como ayuda para una voladura más eficiente o como parámetro de riesgo donde sea necesario reforzar la galería.

Mezclas de mineral: el geólogo ayuda en mantener el tenor de la explotación del mineral. Los depósitos vetíticos presentan valores bastante variables, algunas



veces bastante grandes y otras veces muy pequeños, el geólogo debe monitorear y equilibrar estos resultados antes de que llegue a planta, de lo contrario la concentración estándar de los diferentes químicos usados, no serán efectivos y el proceso de extracción de oro será ineficiente.

Dirección de veta: el geólogo interpreta la variación de dirección de la veta por lo tanto indica la dirección que se debe seguir en voladura.

Muestreo de tunelería y frente; se muestrea la veta con el objetivo de monitorear el porcentaje de oro, el espesor y el estilo estructural de esta.

En general, el proyecto Mina Quintana (*Licencia 6173*), se encuentra en una etapa de explotación y exploración continua donde el principal objetivo es incrementar los recursos y mantener las reservas de mineral (Naranjo, 2008).

4.4 PROGRAMA DE DESARROLLO DEL MINERAL EN PLANTA Y LABORATORIO

El programa de desarrollo del mineral en planta y laboratorio se realiza por medio de procesos químicos de beneficio de minerales monitoreados continuamente tanto en planta como en laboratorio, es posible mejorar la obtención del dore (plata y oro) y reducir el vertido de sustancias tóxicas al medio. Entre estos procesos químicos existe el programa de molienda en planta (ver FIGURA 16) y proceso de cianuración en planta y laboratorio (ver FIGURA 17) (Ríos, 2010).

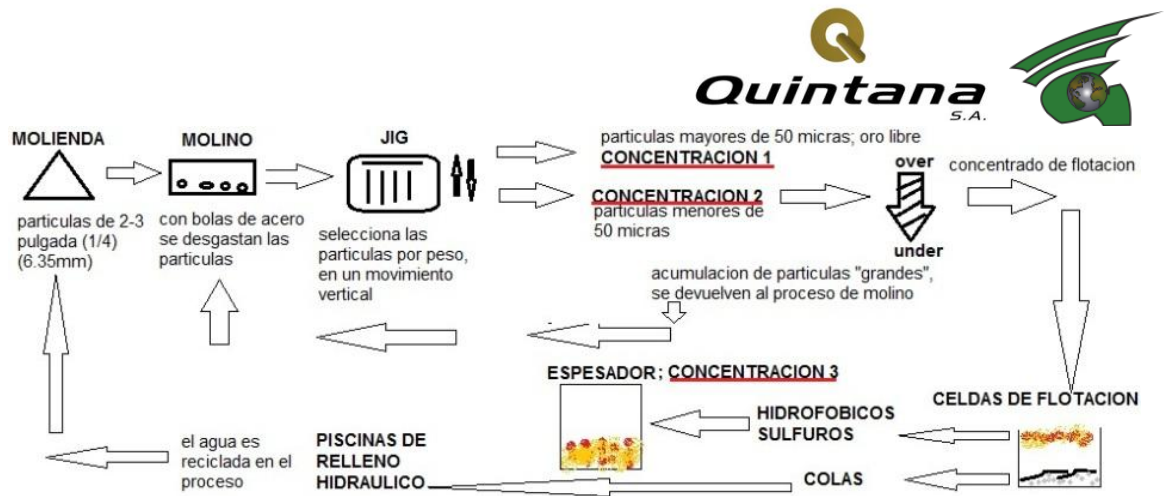


FIGURA 16. Proceso de molienda en planta. Tomado de Ríos (2010).

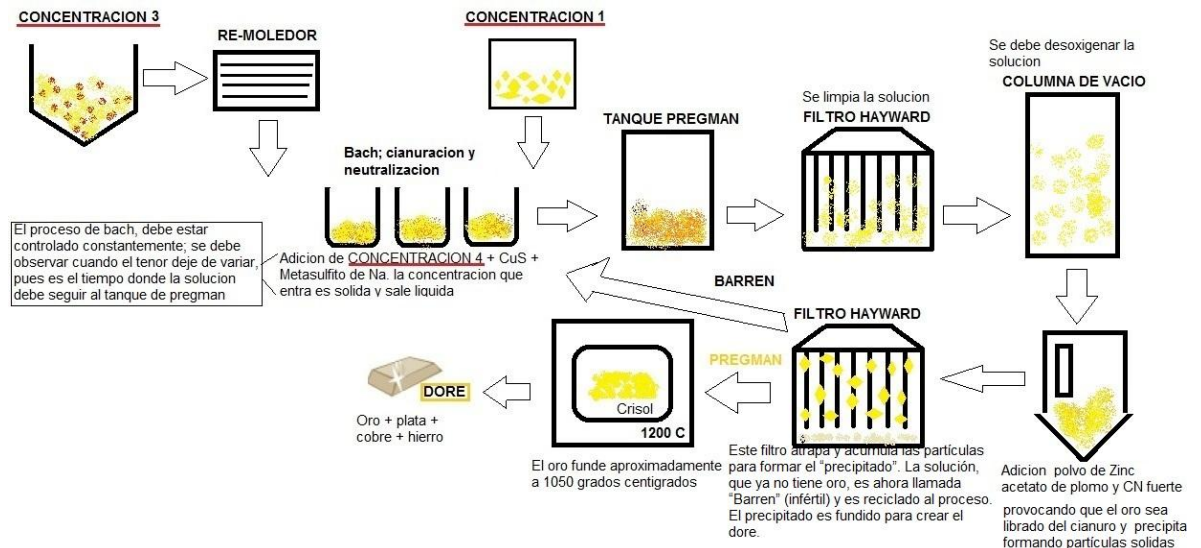


FIGURA 17. Proceso de cianuración en planta y laboratorio. Tomado de Ríos (2010).

4.5 TECNICAS AMBIENTALES EN EL PROCESO MINERO

Los problemas ambientales en el proceso minero se centran principalmente en tres procesos; la extracción del mineral, procesado del mineral y residuos químicos.

La extracción del mineral se basa en el manejo de explosivos potentes, después de cada detonación además de desprenderse material en la mina se desprende un gas toxico resultado de una gran variedad de reacciones químicas de los sulfuros con la detonación. El jefe de mina es el responsable de controlar la cantidad de gas aceptable para el ser humano, por lo tanto además de preocuparse por mantener el tenor de la mena debe controlar la acción de la ventilación dentro de la mina. QUINTANA SAS utiliza un sistema eficiente de ventilación dentro de la mina además de programar el tiempo de voladuras o detonaciones.

El procesado del mineral es causa contaminación en el momento que se usan sustancias toxicas para el ser humano, como lo es el manejo del mercurio para ayudar en la separación del metal precioso con los otros minerales. QUINTANA SAS maneja el proceso de cianuración en planta y laboratorio (ver FIGURA 17). El cianuro no se cataloga como una sustancia toxica para el ser humano, por el contrario muchos de los procesos naturales necesarios para el mantenimiento del medio ambiente contienen pequeñas cantidades de este compuesto.

La explotación minera siempre va a traer un impacto al medio ambiente (al igual que muchas otras actividades desequilibradas que se practican sobre el suelo), la contaminación (desequilibrio) que se genere como resultado de la explotación minera es un tema que se puede en lo posible controlar, poniendo en práctica las recomendaciones ambientales. QUINTANA SAS recicla al máximo las soluciones que contienen cianuro y neutraliza las colas a los límites de vertido antes de enviar las colas al botadero. En el botadero el nivel de CN es reducido (acción de oxígeno y rayos ultravioleta UV en las aguas de poca profundidad) posteriormente estas aguas también son recicladas a la planta y el material limoso que se asienta es re-utilizado en la mina para rellenos de las galerías (Naranjo, 2008).



FIGURA 18. Piscinas de relleno hidráulico en licencia 7123 Quintana.

Las practicas de explotación minera en base a recomendaciones y programas ambientales tienen futuro de lo contrario estas actividades se cancelaran, porque no es posible que la extracción de los minerales metálicos que son recursos no renovables sea de una manera desequilibrada e irresponsable. Actualmente Colombia es un país que inicia su camino hacia la minería pero la experiencia de países vecinos como Chile y Perú indican que es importante controlar la explotación de los minerales. Específicamente para el caso de Perú existe la Asociación de Pequeños y Medianos Empresarios Mineros Ecologistas (APMEME) impulsando una minería ecológica, exitosa y organizada.

4.6 IMPACTO SOCIAL DE LOS PROYECTOS MINEROS

El impacto social de los proyectos mineros inicia con la inversión extranjera que es muy buena para la economía del país, trae empleo, desarrollo y relaciones internacionales. El país de origen adquiere reconocimiento en el mundo, la influencia extranjera amplía el conocimiento y las oportunidades de vida en el país de origen.

La problemática se presenta cuando el manejo de esta situación no es equilibrada, entonces se obtienen resultados como aumento exagerado de consumo de energía en el país (procesos metalúrgicos) problemas ambientales, despojo de las tierras, uso masivo del agua, desplazamiento de labores (la agricultura y ganadería es olvidada) y la forma de vida se torna más cara. Son costos a largo plazo que en pocas ocasiones son tomados en cuenta en el momento de determinar el valor de los minerales extraídos en el país de origen.

Además, Colombia es un país inmensamente rico en materia prima, tiene la capacidad de exportar a grandes países sus recursos naturales y tiene un gobierno que apoya la inversión extranjera. Pero vende esta preciada materia prima a otros países para más adelante tener que comprar a un valor mayor productos basados en esta materia prima que vendió a un precio pequeño. Colombia no da valor agregado a su materia prima, no invierte en la transformación y elaboración de esta materia prima porque seguramente necesita y quiere recuperar sus inversiones rápidamente, ignorando el camino de trabajar en la elaboración de sus propios productos. El cambio es posible pero se necesita el compromiso del país con conciencia de ganador para tener la posibilidad de competir, Colombia debe tener mente de cazador y no de la presa.

5 PLAN DE TRABAJO

El cumplimiento de los objetivos propuestos es la principal base del desarrollo del proyecto. Por lo tanto es necesario ejecutar una metodología práctica y eficiente que se presenta a continuación:

5.1 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ARTÍCULOS, INFORMES, TESIS, LIBROS...

La recopilación bibliográfica de artículos, informes, tesis y libros es prioritaria porque es la unión de la información existente del área de estudio (reportes técnicos, artículos, informe, tesis, libros, revistas especializadas, bases de datos, entre otros). Esta etapa es de carácter permanente y durara hasta la finalización del proyecto.

5.2 ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades realizadas tienen como principal objetivo de alcanzar los objetivos propuestos de una manera eficiente.

5.2.1 Actividad A: recolección, descripción y organización de muestras de suelo

La actividad A es el inicio de la exploración en campo donde se hace el muestreo y descripción general de suelos a un intervalo de profundidad entre 0.50-0.70m. Cada una de las muestras recolectadas debe estar descrita (textura del material, color y observaciones). A continuación se presenta la clasificación de los compuestos del suelo, según Besoain (1985);

Fragmentos de roca: en ocasiones se presentan fragmentos de rocas que han sido meteorizadas, en ocasiones guardan propiedades propias de las rocas

como venillas de cuarzo, cloritización, presencia de sulfuros pero puede pasar el caso de generarse oxidación y alteración de la roca debido a la meteorización.

Minerales: el conocimiento cuantitativo y cualitativo de los minerales y su estructura permiten explicar propiedades del suelo y su comportamiento.

Minerales primarios: minerales que no se alteraron químicamente después de su génesis, son minerales formados a grandes temperaturas, derivados de rocas ígneas y metamórficas. Tales como silicatos, carbonatos, fosfatos, sulfatos (ver FIGURA 19 y 22).



FIGURA 19. Venilla de cuarzo entre un suelo arcilloso.

Detalle de la FIGURA 19 como el cuarzo (mineral primario) se ha mantenido, mientras que el resto de la roca ha meteorizado completamente hasta convertirse en suelo.

Minerales insolubles o secundarios: son aquellos minerales formados en el ambiente de intemperismo, son el resultado de la descomposición de un mineral primario (óxidos de hierro y manganeso, arcillas, sulfatos, carbonatos y metales nativos) (Tamhane, 1978).

Agua: en el suelo existe una retención de agua dentro de los poros del suelo (no toda el agua en el suelo es absorbida por las plantas, gran parte de esta se deposita en el suelo).

Aire: el aire que circula en los poros, el aire del suelo no es el mismo que el de la atmósfera (el aire del suelo no es continuo está separado por sólidos, por lo tanto la composición del aire en un sitio es muy diferente a otro). Generalmente el aire del suelo es más húmedo que el de la atmósfera.

Color del suelo: el color del suelo está altamente relacionado con la mineralogía, el drenaje, materia orgánica y clima. El conocimiento del color ayuda a definir el origen del suelo además indica aproximadamente la composición del suelo (ver TABLA 1) (Tamhane, 1978).

TABLA 1 Compuestos del hierro que influyen en el color del suelo. Tomado de Tamhane (1978).

| Compuesto Mineral | Formula Química | Color |
|--------------------------|---|----------------|
| Oxido Férrico | Fe ₂ O ₃ | Rojo |
| Oxido Férrico Hidratado | Fe ₂ O ₃ * H ₂ O | Pardo Amarillo |
| Oxido Ferroso | FeO | Gris Azulado |

Detalle de TABLA 1 que las formas menos hidratadas son más rojizas (hematita) que las hidratadas (ver FIGURA 20).



FIGURA 20. Canal de muestra de suelo, Túnel 2, Cabuyal, Antioquia.

De la FIGURA 20, Observe hacia la izquierda Limolita (pardo amarillento), y hacia la derecha Hematita (rojo). Este cambio drástico de óxidos ocurre posiblemente por la influencia de una fractura vertical que ha facilitado el transporte de fluidos, probablemente hacia la parte izquierda porque es donde los materiales están hidratados. En general, el tipo de óxido está fuertemente relacionado con la cantidad de agua y oxígeno en el suelo.

El color del suelo también depende del clima del área; los suelos secos suelen estar bien aireados por lo tanto el hierro se encuentra en estado oxidado o férrico. En condiciones más húmedas el hierro se presenta en estado férrico pero en formas hidratadas, en suelos muy húmedos existe una deficiencia de oxígeno y el hierro se encuentra en estado ferroso.

El resultado de esta actividad es la elaboración del mapa de anomalías de muestras de suelos para cada licencia, donde será posible identificar áreas anómalas.

5.2.1.1 Método

Realización del plan de trabajo de campo: antes de desplazarse al área de trabajo en campo se debe diseñar los recorridos que se van a seguir (GPS) y herramientas de trabajo.

Logística de personal: organizar los grupos de trabajo (asignar un jefe de grupo que maneja el GPS) se emplea gente de la región (debido a que estas personas tienen conocimiento de la zona y de sus habitantes) (véase ANEXO A).

Recolección de muestras de suelo: esta fase se realiza en campo, se debe recolectar muestras de suelo (a un intervalo de profundidad entre 0.50-0.70m y a una distancia que depende del grado de exactitud y precisión que se desee manejar) se recomienda tomar entre 1000 y 1500 gr. de muestra de suelo. Cada muestra debe estar descrita (color, textura y observaciones).

Organización de muestras y envío de muestras de suelo al laboratorio: organizar las muestras por orden consecutivo en costales, los cuales deben tener cada un máximo de 25 muestras (25 kg. de peso máximo, como dicta la norma de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial). Finalmente, se envían las muestras recolectadas al laboratorio.

Base de datos: la base de datos debe contener la descripción de cada muestra recolectada es decir: coordenadas planas, textura, color, profundidad de recolección de la muestra, observaciones y los resultados obtenidos del análisis geoquímico.

Construcción de mapa de anomalías de suelos: después de obtener los resultados LA-ICP-MS del laboratorio se procede a organizar esta información mediante la elaboración de un mapa de anomalías de suelos utilizando el software de modelamiento VULCANSP3.

Identificación de áreas anómalas: en base al mapa de anomalías y las características geológicas (estructuras regionales, unidades tectono-estratigráficas...) es posible ubicar las áreas anómalas. El programa de recolección de muestras de suelos de trincheras se elabora en base a esta información.

5.2.1.2 Licencias muestreadas

Quintana (licencia 6173-8411): teniendo conocimiento de la ubicación de la veta en la Mina Quinta el programa de análisis geoquímico de suelos inicio perpendicular a la veta; la parte de debajo de la veta es un área con tradición minera, pero la parte superior de la veta es un área donde la veta no es evidente.

Componentes del suelo

Fragmentos de roca: se presentan fragmentos de roca oxidados.

Minerales primarios: se presentan discontinuas y variables venillas de cuarzo.

Minerales secundarios: generalmente óxidos y arcillas.

Textura del suelo: la textura predominante es limo-arcilla.

Color del suelo: los colores de suelos varían entre un naranja-pardo, además se observan colores rojos oscuros y claros rodeando las venillas y vetas de cuarzo.

Muestras de suelos en Quintana (licencia 5698-745): Este proyecto se está realizando actualmente, por lo tanto la información no está completa.

Muestras de suelos en Rosaleda (licencia 6002): Rosaleda es una zona con importantes antecedentes mineros encontrados.

Componentes del suelo

Fragmentos de roca: se presentan fragmentos de roca completamente oxidados.

Minerales primarios: se presentan discontinuas y variables venillas de cuarzo, además de pequeños fragmentos de cuarzo (ver FIGURA 21).

Minerales secundarios: generalmente óxidos y arcillas.

Textura del suelo: la textura predominante es limo-arcilla.

Color del suelo: los colores de suelos varían entre un naranja, además se observan colores rojos oscuros y claros rodeando las venillas y vetas de cuarzo.



FIGURA 21. Fragmentos de cuarzo en limo.

Detalle de la FIGURA 21 los pequeños fragmentos de cuarzo entre el material limo-arcilloso, debido a que el cuarzo es un mineral supremamente estable a los cambios físicos y químicos es posible su preservación mientras que otros minerales de las rocas como feldespatos se meteorizan ante los cambios del ambiente.

Muestras de suelos en Cabuyal (licencia 7121)

Componentes del suelo

Fragmentos de roca: se presentan fragmentos de roca meteorizados, fracturados y oxidados (ver FIGURA 22).

Minerales primarios: se presentan discontinuas y variables venillas de cuarzo.

Minerales secundarios: generalmente óxidos y arcillas.

Textura del suelo: es dominante la cantidad de material arcilloso sobre el material arenoso presente.

Color del suelo: Los colores de suelos de Cabuyal varían entre un naranja-pardo hasta un café claro.



FIGURA 22. Fragmentos de roca de granodiorita de diferentes tamaños en el suelo limoso.

Detalle de la FIGURA 22 los fragmentos de granodiorita en el suelo limoso, debido a la meteorización la roca se va fracturando y con la acción conjunta de diferentes procesos erosivos el material es erodado.

Muestras de suelos en San Roque (licencia 7218)

Componentes del suelo

Fragmentos de roca: se presentan fragmentos de roca completamente oxidados (ver FIGURA 23).

Minerales primarios: fragmentos de cuarzo en ocasiones oxidados.

Minerales secundarios: feldespatos y anfibolitas completamente convertidos a arcillas, además de rocas completamente oxidadas (ver FIGURA 24).

Textura del suelo: el material que se encontró en San Roque principalmente es arcilloso

Color del suelo: los colores de suelos de San Roque muestreados oscilan entre un vinotinto–rojo-amarillento (ver FIGURA 25). Es decir, San Roque es una región donde el paso de fluidos y oxígeno es bastante discontinua y diversa.



FIGURA 23. fragmento de granodiorita fuertemente meteorizada y oxidada.

Detalle de la FIGURA 23 la oxidacion parda (oxidacion hidratada) y la rojo-binotinto (oxidacion no hidratada), posiblemente en la zona existio un paso de fluidos que hidrato en algunas regiones al material y en otras no.



FIGURA 24. Granodiorita esta convertida completamente ha arcilla y oxidada en Licencia 7218 (San Roque).

Observe la FIGURA 24 la acción erosiva del agua en un afloramiento de granodiorita meteorizada y convertida en arcilla.

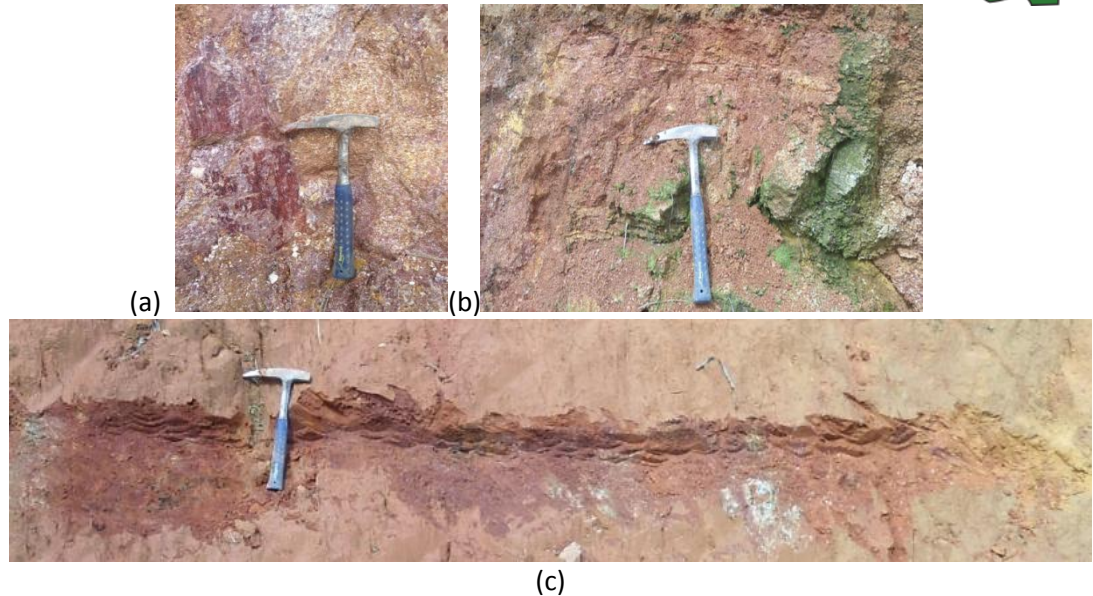


FIGURA 25. Minerales secundarios en los suelos de Licencia 7218 (San Roque).

De la FIGURA 25 se observa (a) y (b) suelo oxidado, observe la marcada diferencia de colores del suelo, existen fracturas fuertemente oxidadas hasta presentarse suelos pardos-amarillentos (limolita) donde el material posiblemente fue hidratado debido a las múltiples fracturas.(c) secuencia de la variación del color del suelo en menos de 2m.

Muestras de suelos en Vegachí (licencia 7123)

Este proyecto se está realizando actualmente.

5.2.1.3 Entregables

-6 Bases de datos de muestras de suelos en archivo Excel con coordenadas y números de muestras (Quintana (licencia 6173-8411), Rosaleda (licencia 6002),



Quintana (licencia 5698-745), Cabuyal (licencia 7121), San Roque (licencia 7218), Vegachí (licencia 7123)).

-6 Grupos de mapas de recorridos (“*Tracks*” del GPS: recorrido que marca el GPS, en el momento de recolectar las muestras de suelos) descargados en formato .gdb “*mapsource*” digital (Quintana (licencia 6173-8411), Rosaleda (licencia 6002), Quintana (licencia 5698-745), Cabuyal (licencia 7121), San Roque (licencia 7218), Vegachí (licencia 7123); cada licencia contiene entre 5 y 8 mapas).

-Muestras de suelos empacadas y organizadas consecutivamente en costales (mínimo 25 Kilos) se recolecto un total de 1500 para Quintana (licencia 6173-8411), se recolecto un total de 1760 muestras para Quintana (licencia 5698-745), se recolecto un total de 7560 muestras de suelos para Rosaleda (licencia 6002), se recolecto un total de 7432 muestras para Cabuyal (licencia 7121), se recolecto un total de 2345 muestras para San Roque (licencia 7218), se recolecto un total de 3864 muestras para Vegachí (licencia 7123).

5.2.2 Actividad B: recolección, descripción y organización de muestras de suelos en trincheras.

La actividad B es el momento donde el geólogo interpreta y relaciona las áreas anómalas (identificados en el mapa de anomalías de suelos) y las características geológicas del área con el objetivo de ubicar trincheras (zanjas) en áreas con interés económico, en esta actividad se recolectan muestras de suelo a un intervalo de profundidad entre 1.40-1.50m, en un canal continuo cada 2m (ver FIGURA 26).

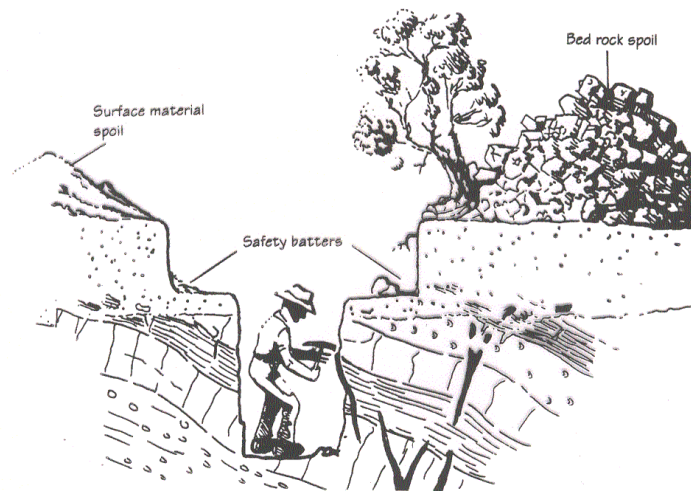


FIGURA 26. Geólogo trabajando en una trinchera. Tomado de Oyarzun (2011).

5.2.2.1 Método

Análisis de mapa de suelos: el mapa de suelos es la herramienta indicativa de la zona donde se debe comenzar a muestrear, debido a que evidencia y ubica las zonas anómalas en la cartografía.

Realización del plan de trabajo: antes de desplazarse al área de trabajo en campo se debe determinar el punto de inicio de la trinchera, la longitud y la dirección (véase el ANEXO A).

Logística de personal e implementos de trabajo: es importante organizar el personal de tal manera que sea posible obtener un trabajo eficiente.

Recolección y organización de muestras de suelo: la trinchera tiene un intervalo de profundidad entre 1.40-1.5m, el geólogo debe recolectar muestra cada 2m por medio de un canal continuo y describir cada muestra (textura, color y observaciones). Algunas veces se encuentran estructuras tales como venillas,

vetas, cuarzos rodados, en este caso se hace una descripción básica de la estructura (ubicación, dirección, espesor) y se recolecta una muestra.

Organización de muestras y envío de muestras de suelo al laboratorio: las muestras recolectadas en campo se deben organizar en orden ascendente y almacenar en bultos de máximo 25 kg para posteriormente ser enviadas al laboratorio.

Base de datos: la base de datos debe contener información básica como ubicación, secuencia de metros muestreados, secuencia de muestra, profundidad de recolección de la muestra, azimut, longitud de la trinchera y los resultados obtenidos del análisis geoquímico.

Construcción de mapa de anomalías de Trincheras: después de obtener los resultados LA-ICP-MS del laboratorio se procede a organizar esta información mediante la elaboración de un mapa de anomalías de suelos utilizando el software de AutoCAD 2011.

Identificación de áreas anómalas: en base al mapa de anomalías de Trincheras, el geólogo ubica puntos exactos que registran el mayor valor anómalo e identifica el lugar de inicio del blanco de perforación.

5.2.2.2 Licencias muestreadas

Muestras de suelos en Quintana (licencia 5698-745)

El resultado de la recolección de muestras de suelo en Quintana (licencia 5698-745) es el mapa de anomalías de suelos (ver FIGURA 27).

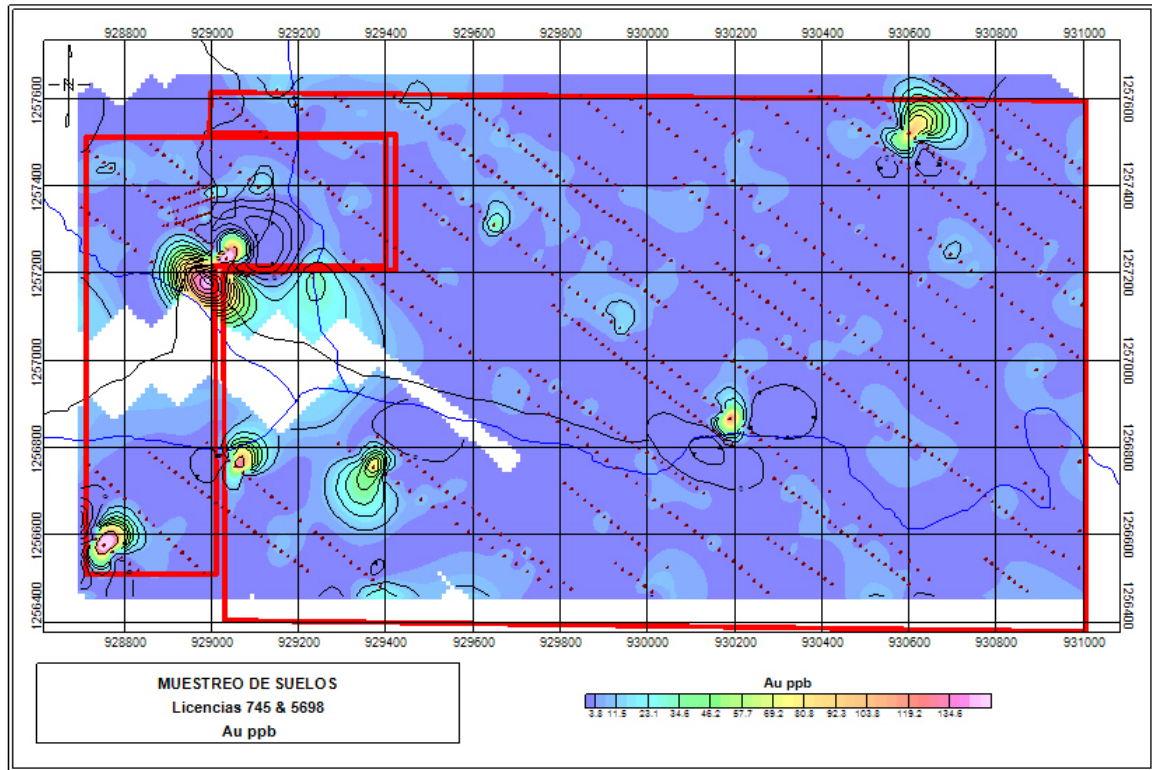


FIGURA 27. Mapa de suelos de Licencia 5698-745 (Quintana).

Licencia 745 (Quintana).

Licencia 745 (Quintana) es un área poco explorada seguramente por su difícil acceso, se encuentra en la parte superior de la Mina Quintana. Actualmente en esta área se adelanta exploración en trincheras (ver FIGURA 28).

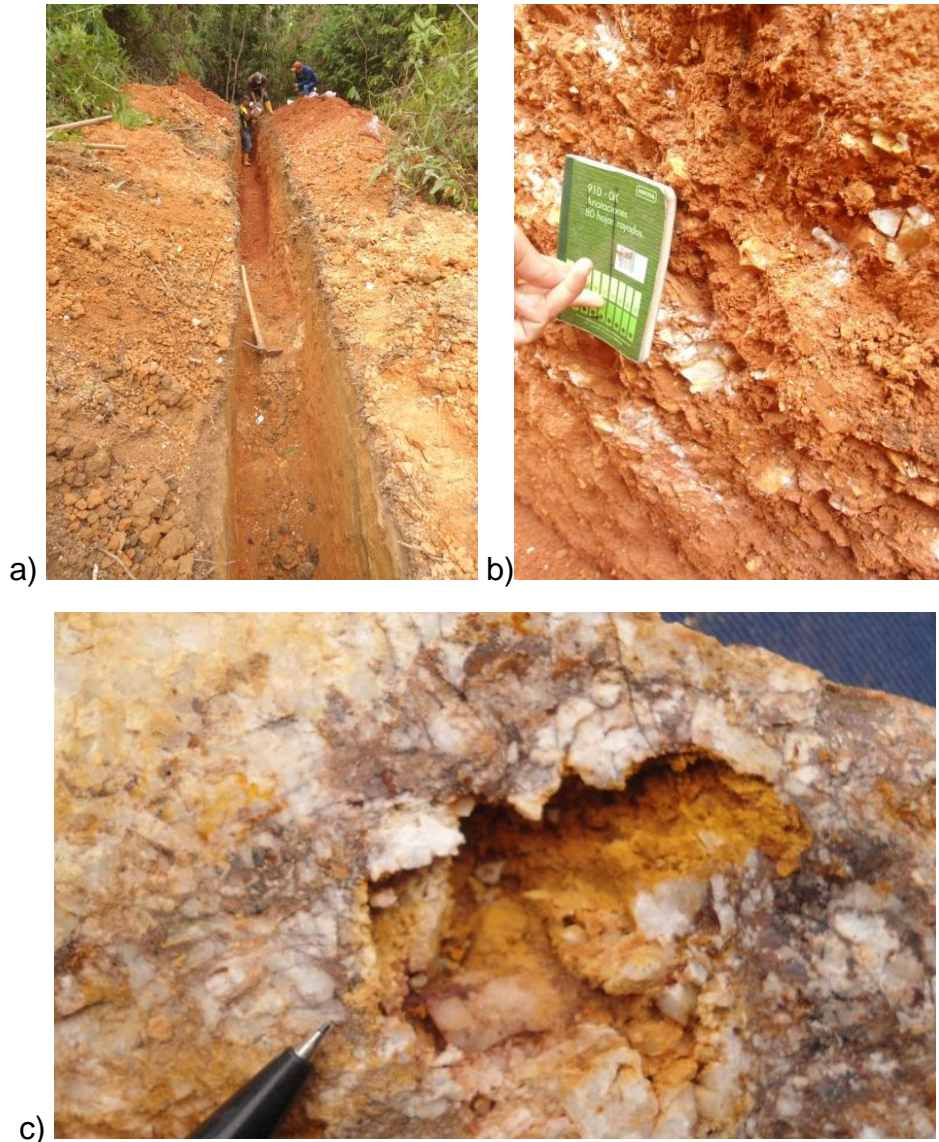


FIGURA 28. Veta en trinchera en Licencia 745 (Quintana).

De la FIGURA 28, observe en a) la veta aflorando en superficie (la veta esta debajo de la pica) la oxidación en los alrededores de la veta es más intensa además se encuentran fragmentos de cuarzo dispersos en los alrededores de la veta. b) detalla los fragmentos de cuarzo y la oxidación intensa que caracteriza la presencia de veta en superficie y c) es un detalle de la veta mineralizada-oxidada.

Licencia 5698 (Quintana).

Licencia 5698 (Quintana) está ubicada en la parte inferior de la Mina Quintana, la Licencia 5689 es un área más explorada-explotada y más accesible (la pendiente es menor) a comparación de Licencia 745 (Quintana) es un área donde el terreno permite que el trabajo en trincheras se adelante con retroexcavadora (ver FIGURA 29).



FIGURA 29. Trinchera en el área inferior de mina Licencia 5698 (Quintana).

En Licencia 5698 (Quintana) el afloramiento en superficie de la veta se encuentra a mayores profundidades que las vetas encontradas en Licencia 745 (Quintana), posiblemente debido al buzamiento de la veta principal que se encuentra en Mina Quintana el cual presenta una inclinación hacia el Este. Por lo tanto se espera encontrar a mayores profundidades vetas en la parte inferior que en la superior de la Mina Quintana.

Además las características del suelo entre licencia 5698 (Quintana) y licencia 745 (Quintana) son muy diferentes, es decir los minerales secundarios (óxidos y arcillas) producto de la meteorización de las rocas son bastante diferentes (ver FIGURA 28, 31 y 32). A simple vista se puede observar la diferencia del color de los suelos, para licencia 745 existen colores rojizos-binotintos a comparación de licencia 5698 con colores amarillentos. Lo anterior es el resultado del conjunto de diferentes efectos: posiblemente la parte superior de la veta licencia 745 es un área menos contaminada, menos erosionada que licencia 5698, porque esta ultima licencia tuvo que soportar diversos procesos secundarios (erosión y sedimentación de la cuenca) es decir los materiales en licencia 5698 han tenido que pasar por alteración hidrotermal así como licencia 745, pero además licencia 5698 tuvo que afrontar los efectos erosivos y de sedimentación normales de una cuenca hidrográfica debido a su ubicación.



FIGURA 30. Veta oxidada en Licencia 5698 (Quintana).

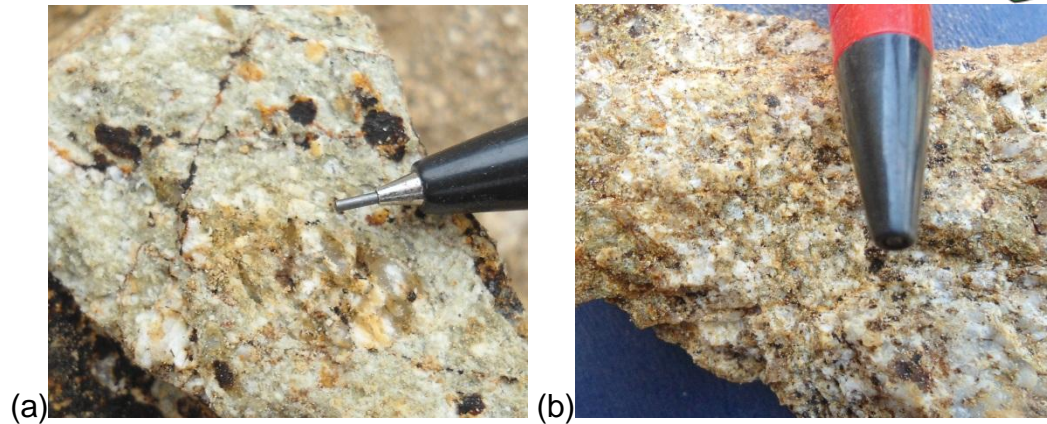


FIGURA 31. (a) y (b) Roca caja alterada y oxidada en Licencia 5698 (Quintana).

Detalle de la FIGURA 31 el alto grado de la cloritización y oxidación de la roca, (a) es una muestra de roca totalmente cloritizada donde es posible observar pequeños cristales de cuarzo además de fracturas rellenas de óxidos y (b) es un fragmento de roca moderadamente oxidado donde solo los cristales de cuarzo se observan.

En Licencia 5698 (Quintana) se encontró en superficie una veta que arroja importantes valores anómalos mediante la fase de trincheras, por lo tanto se sigue la dirección de esta veta (ver FIGURA 32).



FIGURA 32. Trinchera siguiendo la veta en Licencia 5698 (Quintana).

Muestras de suelos en Rosaleda (licencia 6002)

El resultado de la recolección de muestras de suelo en Rosaleda (licencia 6002) es el mapa de anomalías de suelos (ver FIGURA 33).

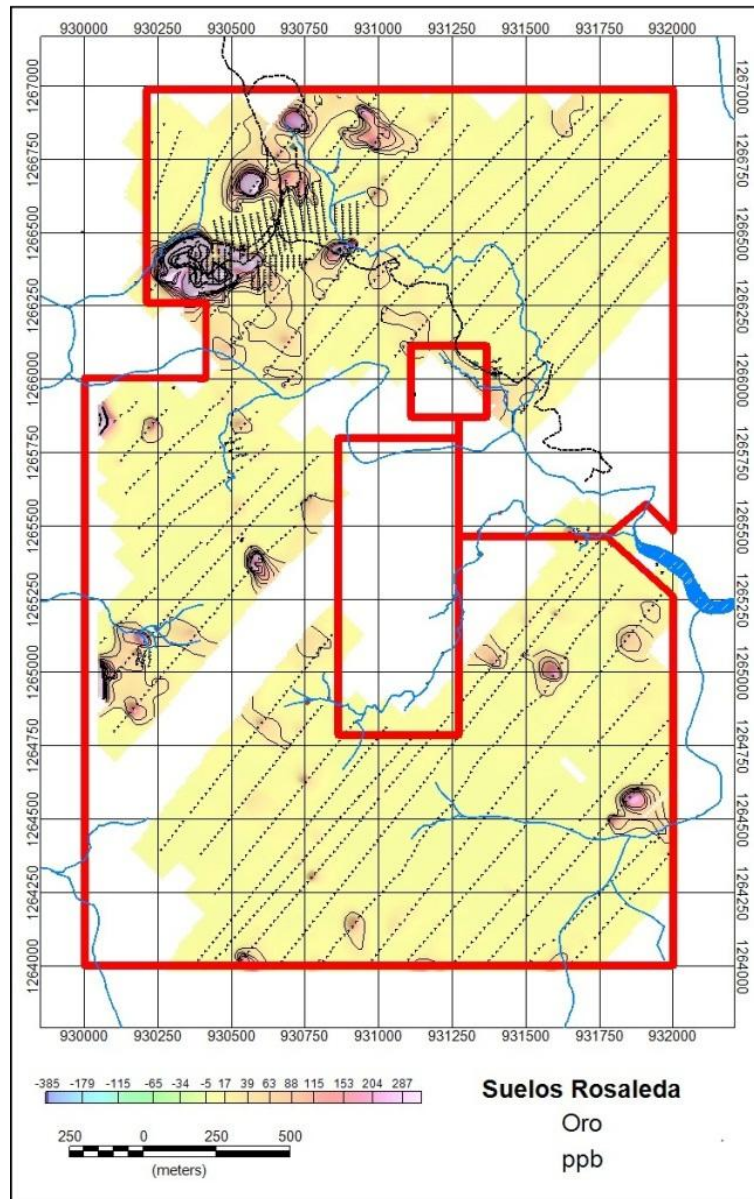


FIGURA 33. Mapa de suelos de Licencia 6002 (Rosaleda). Tomado de Quintero (2011).

Dependiendo de la estabilidad del terreno, la trinchera se realiza con retroexcavadora o con hombres. Después de la fase de expulsar el material, se recolecta el material a 1.5m de profundidad máximo, y para finalizar se rellena con el material sacado anteriormente, es importante terminar el trabajo en las mejores condiciones ambientales posibles, incluso se toma en cuenta en sembrar pasto, para evitar posibles problemas de desestabilización del terreno (ver FIGURA 34).



FIGURA 34. Trinchera en rosaleda, fase relleno-recolección.

Para evitar el mayor impacto ambiental, en pendientes altas se realizan trincheras paralelas en intervalos con el objetivo de mantener una aceptable estabilidad en el terreno (ver FIGURA 35).



FIGURA 35. Trincheras paralelas en intervalos.

El geólogo debe tener en cuenta en la base de datos (libreta) las principales características que presenta el material recolectado, tales como; textura, color, presencia de fragmentos de roca y/o cuarzo y observaciones (ver FIGURA 36).



FIGURA 36. Propiedades físicas del material.

Debido al movimiento libre de soluciones, abundante oxígeno, agua y CO_2 , el material presenta alteración secundaria, generando la alteración argílica con parches de oxidación (ver FIGURA 37).

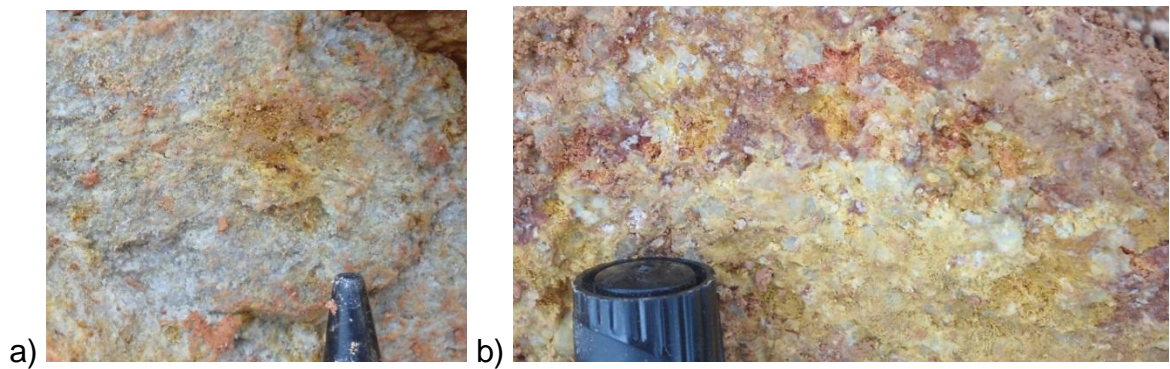


FIGURA 37. Alteración secundaria del material.

De la FIGURA 37, observe el comportamiento de la estabilidad de los compuestos, los metales son solubles en ambiente ácido y tienden a precipitarse como hidróxidos a mayores valores de pH, detalle en a) una zona de oxidación alrededor de los sulfuros en la roca. Recordemos que el cuarzo es poco soluble, de baja movilidad por lo tanto es posible encontrarlo en pequeños fragmentos, por el contrario los feldespatos son alterados a arcillas, las cuales son minerales de alta movilidad que se disuelven en agua y son transportadas en suspensión (b).

Es posible encontrar antiguos trabajos mineros en dirección de la trinchera que se está trabajando, el geólogo debe tomar la mayor cantidad de datos sobresalientes del material encontrado y recolectar una muestra para análisis geoquímicos (ver FIGURA 38).

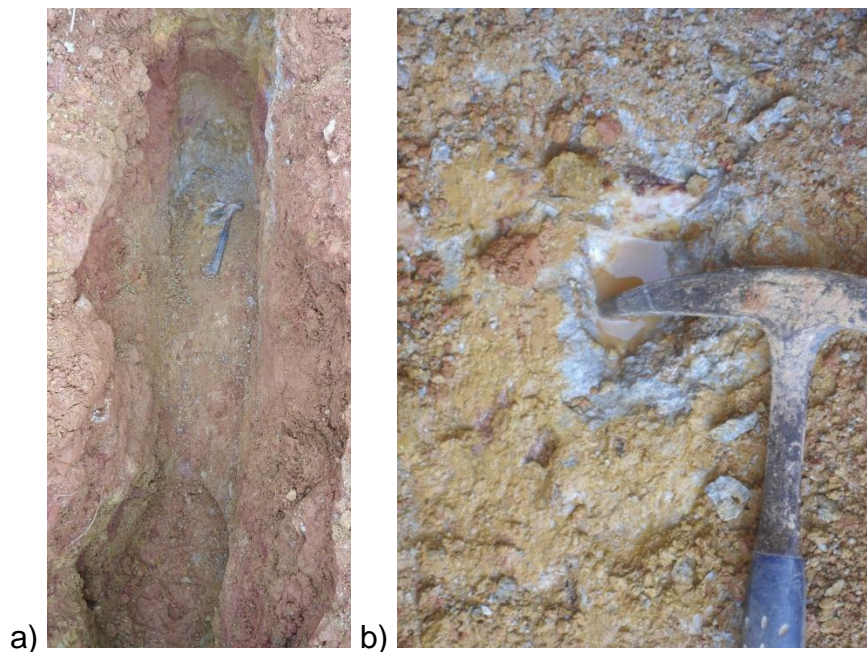


FIGURA 38. (a) Túnel subterráneo de mineros artesanales y (b) “cuña” de cuarzo.

De la FIGURA 38 detalle en a) dos huecos (superior-inferior), únicamente existe cuarzo donde se encuentra el martillo, los mineros artesanales realizan “túneles subterráneos” que son encontrados mediante la exploración en trincheras algunas veces estos mineros artesanales para tener estabilidad en estos túneles están obligados a dejar “cuñas” del material (cuarzo) y b) cuña de cuarzo.

Rosaleda es una zona de tradición minera, se ha trabajado mucho en la zona, por lo tanto existen diferentes bloques de cuarzo rodado en superficie. Se adelanto un proyecto, donde se recolectan estos bloques y son analizados en el laboratorio (ver FIGURA 39).



FIGURA 39. Recolección de bloques de cuarzo.

Estos bloques de cuarzo generaron valores anómalos importantes, ocasionalmente estos cuarzoes rodados fueron procesados por planta y laboratorio por su interés económico.

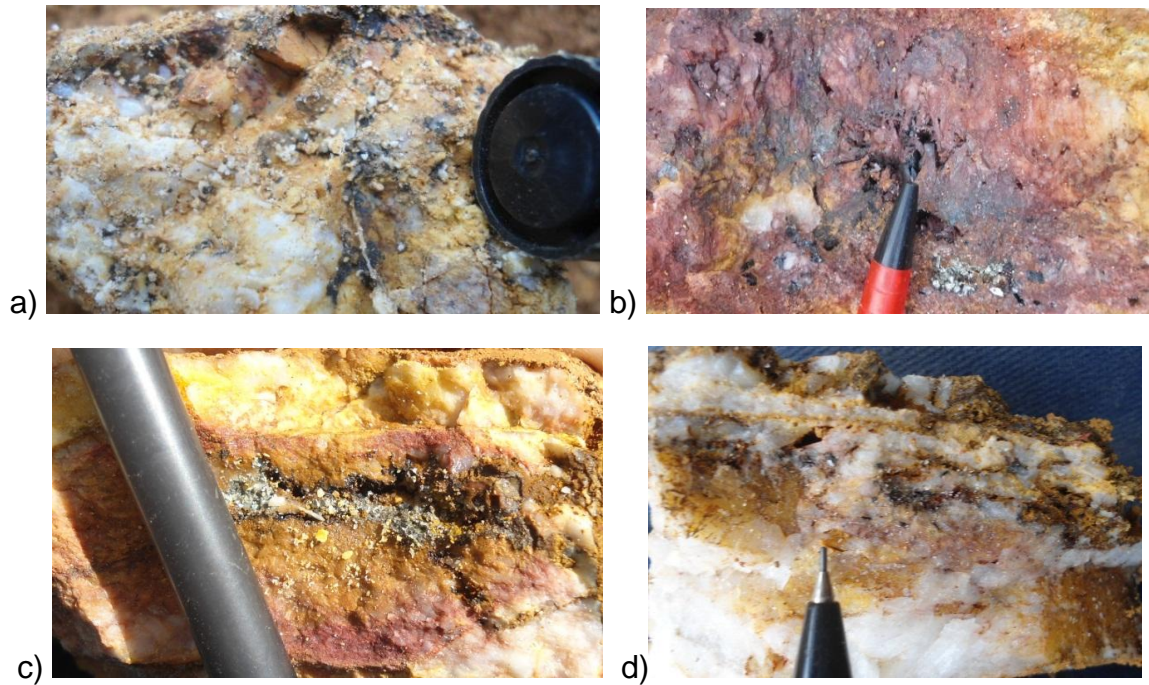


FIGURA 40. Fragmentos de cuarzo con oxidación.

De la FIGURA 40, detalle la oxidación del cuarzo debido a la precipitación de sulfuros y al paso de fluidos. a) los sulfuros pueden generar una capa de óxidos de manganeso (capa negra) b), c) y d) son ejemplos de la oxidación en el cuarzo debido a la relación entre los sulfuros y el paso de fluidos, detalle la ocurrencia de la mineralización en forma elongada, siguiendo la dirección del fluido inicial.

5.2.2.3 Entregables

-Base de datos de muestras de suelos con coordenadas y números de muestras para cada trinchera programada.

-Muestras de suelos empacadas y organizadas consecutivamente en costales (mínimo 25 Kilos). Se recolecto un total de 1231 muestras para Quintana (licencia 5698-745), se recolecto un total de 988 muestras de suelos para Rosaleda (licencia 6002).

5.2.3 Actividad C: recolección, descripción y organización de muestras de sondeos mecánicos

La actividad C es el programa de perforación esta técnica permite obtener muestras del subsuelo a profundidades variables por lo tanto es una herramienta que ayuda a encontrar la profundidad a la cual se encuentra la veta, medir su espesor, analizar su mineralización, identificar las diferentes litologías y estructuras, y conocer el porcentaje de sulfuros presentes.

Para iniciar con esta práctica se debe elegir entre método de perforación (percusión, rotación, roto-percusión) diámetro de trabajo (desde diámetros métricos a milimétricos) profundidad, sistema de extracción del material cortado (recuperación de testigo continuo, arrastre por el agua de perforación o por aire comprimido). El tipo de sondeo utilizado en QUINTANA SAS es la Recuperación de testigo diamantina "*Diamond Drill Hole DDH*", donde la tubería gira y corta una muestra de roca (testigo) a medida que profundiza en forma de tubo. El resultado de los sondeos mecánicos de exploración preliminar es un cilindro de roca de 4 cm de diámetro (Oyarzun, 2010).

Como regla general en el caso de cuerpos regulares (filones) la disposición y secuencia de sondeos sobre un blanco de exploración, depende de los resultados geoquímicos obtenidos. A continuación se representa el plan de trabajo para esta técnica (ver FIGURA 41).

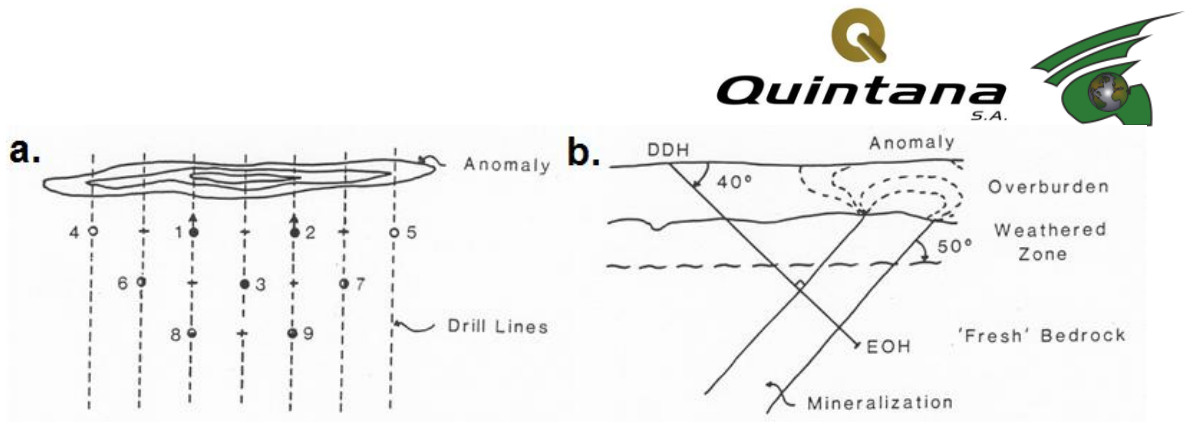


FIGURA 41. Disposición de sondeos tipo DDH. Tomado de Oyarzun (2011).

De la FIGURA 41, se tiene; a) disposición de sondeos tipo DDH para un cuerpo regular delimitado por una anomalía en superficie y b) corte de la disposición de un sondeo tipo DDH cortando la mineralización, detalle el halo de anomalía en el suelo. Dado que se ha determinado que el cuerpo mineralizado se dispone E-W buzando 50° S, los sondeos se dispondrán con una inclinación de 40° N (b). Primero se llevarán a cabo los sondeos 1 y 2, si el resultado es positivo (anomalías minerales altas) se sigue la numeración correspondiente.

El geólogo debe identificar y describir características geológicas (logueo) y realizar un estudio Geotécnico para cada pozo:

Descripción de características geológicas (Logueo): el geólogo debe describir las características geológicas de cada pozo (litología, estructuras, mineralización, alteraciones y observaciones) con el objetivo de obtener conocimiento detallado acerca del material en profundidad. A continuación se presentan los principales términos que se deben manejar:

El termino regolito y suelo: regolito es el conjunto de materiales producto directo de la meteorización de un sustrato, es un conjunto de materiales formado por los fragmentos de la roca original y de minerales neoformados durante el proceso (arcillas y carbonatos). Por el contrario, el suelo es un conjunto de materiales estructurados es decir dividido en una serie de bandas u horizontes que se

originan durante la evolución geológica y biológica (ver FIGURA 42) (<http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>) suelo se encuentra en la parte superior del regolito. Por lo tanto los suelos residuales, el regolito y la roca fresca que los subyace mantienen una relación directa de los patrones de los elementos químicos presentes, es decir aquellos suelos que muy fácilmente encontramos en la superficie posiblemente mantienen las relaciones anómalas minerales presentes en la roca fresca profunda, en el caso de tratarse de un depósito mineral.

El suelo está clasificado en base a su composición en tres horizontes A (humus-capta vegetal) B (roca meteorizada) y C (Roca fresca). Generalmente el horizonte B almacenan abundantes iones metálicos debido a la característica propia del horizonte y a la migración de soluciones mineralizantes a través de fracturas que provienen desde la mena. Por lo tanto el horizonte B, es el más eficiente y adecuado para tomar muestras en exploración geoquímica en la búsqueda de información sobre el cuerpo mineralizante (ver FIGURA 42) (Rodríguez, 2007).

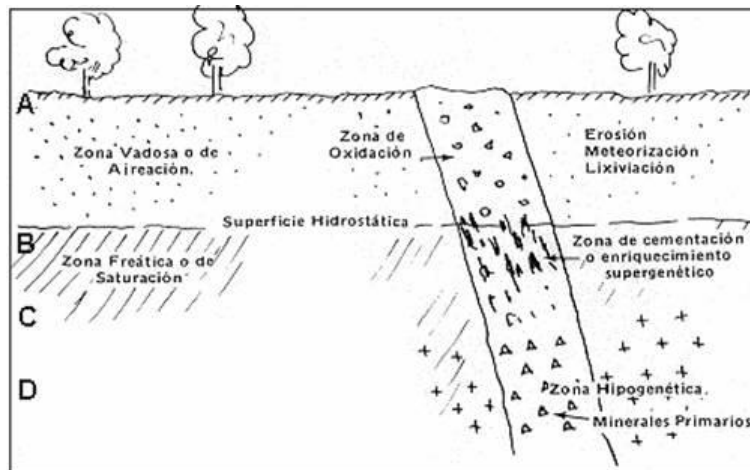


FIGURA 42. Perfil de una región de suelo con mineralización, Tomado de <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>.

Litología: el área de estudio está constituida principalmente por dioritas que varían texturalmente (masiva a ligeramente laminadas) y composicionalmente (cuarzo dioritas, granodioritas y gabros hornbléndicos) (ver FIGURA 58).

Estructuras: las estructuras son el resultado de las interacciones de la roca con los movimientos tectónicos a escala regional ocurridos en el área (ver FIGURA 43). Su reconocimiento es importante porque es un criterio de exploración en la búsqueda de depósitos orogénicos vetíticos, además indica la rigidez de los materiales.



FIGURA 43. Fracturas geotectónicas paralelas pozo QM01, caja 03.

Detalle de FIGURA 43 la presencia de dos familias de fracturas: (1) primer nivel y más antigua fue abierta y rellenada para posteriormente ser desplazada y (2) segundo nivel y más joven fue abierta y rellenada pero menos que la familia de fallas más antigua. Estas dos familias presentan un ángulo de inclinación entre 40-60 grados pero tienen diferentes direcciones. Lo anterior es un indicativo de la cinética estructural del área, posiblemente estas dos familias de fracturas han sido originadas debido a dos marcados movimientos tectónicos favorables para la circulación de fluidos.

Mineralización: La ocurrencia de los minerales sulfurados se presenta en el área de estudio por medio de delgadas, irregulares y discontinuas líneas que se abren desde un parche (ver FIGURA 44). Sin embargo existen zonas donde la mineralización no se observa a comparación de otras áreas donde los parches son abundantes (ver FIGURA 61).

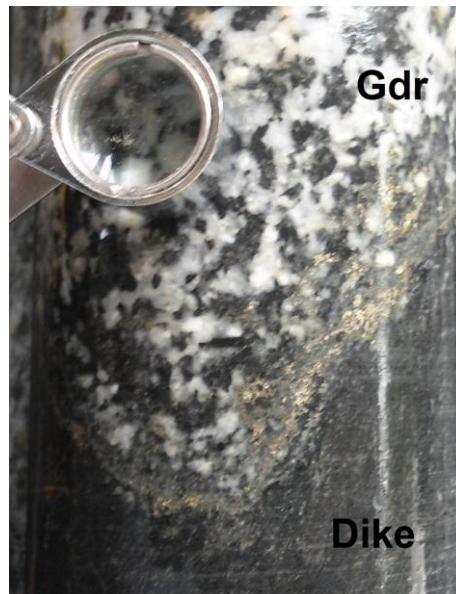


FIGURA 44. Contacto mineralizado entre granodiorita (Gdr) y dique (dike).

De la FIGURA 44 detalle el contacto mineralizado entre granodiorita y dique. Por medio de dataciones radiométricas será posible reconocer cuál de estas dos rocas ígneas intruyó y genera las condiciones necesarias favorables para la precipitación de minerales metálicos en el límite de estos dos materiales.

Alteraciones: la alteración de las rocas es el resultado de interacciones físicas-químicas que han sucedido en el depósito su reconocimiento es importante porque ubica la litología en un modelo metalogénico (ver FIGURA 52).

Observaciones: es importante anotar las características sobresalientes de los materiales, reconociendo posibles criterios de exploración del depósito (ver FIGURA 45, 46 y 47).



FIGURA 45. Granodiorita alterada hidrotermalmente.

De la FIGURA 45 detalle la estructura cristalina preservada del cuarzo mientras que el feldespato ha sido meteorizado. Esta roca tiene una profundidad de 43m y antes de esta se encontraba roca sin alterar, por lo tanto es posible que en esta profundidad fluidos hidrotermales fueran transportados.



FIGURA 46. Material muy fracturado (roca y dique) con arcillas, posiblemente zona de cizalla.



FIGURA 47. Arcillas entre material completamente triturado (Detalle de FIGURA 46).

Estudio Geotécnico: el estudio geotécnico de cada pozo se hace con el objetivo de determinar el grado de estabilidad del material. Se inicia con la elaboración de la recuperación de núcleos “*core recovery RQD*” donde se escoge un intervalo, se miden los metros actuales y se hace una diferencia entre los metros actuales y los metros del intervalo perforados. Regularmente en el momento de perforación existen metros de muestra que se pierden o posiblemente debido a características geológicas (zonas de cizalla y/o roca muy fracturada) es posible que los metros entre un intervalo de núcleo no concuerde con la diferencia entre estos números (por ejemplo: entre el intervalo 130.5m-140.5m del núcleo existe 0.85m de muestra de roca, por lo tanto existe un recovery RQD de 0.15m) (ver FIGURA 48).

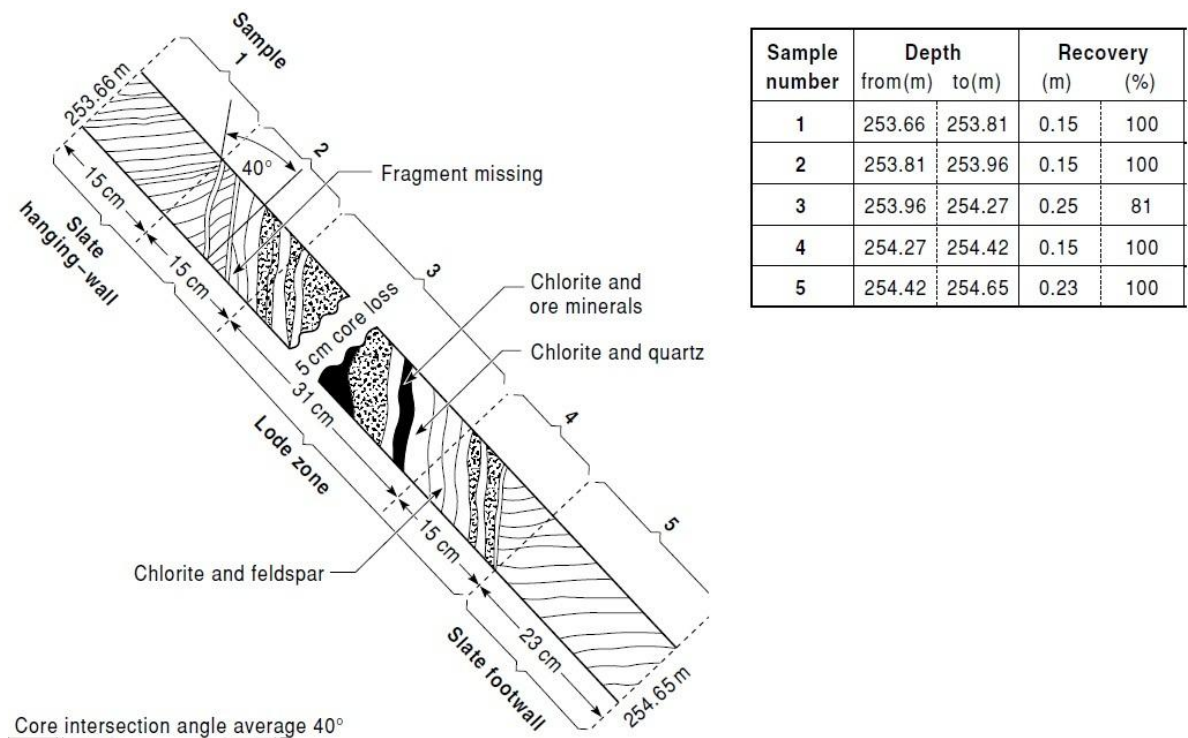


FIGURA 48. Núcleo de perforación. Tomado de Moon et al. (2006).

La FIGURA 48 muestra un ejemplo de las principales características que se tienen en cuenta para medir el recovery RQD y la descripción detallada de la litología.

La descripción y resultados obtenidos del análisis geoquímico de los diferentes núcleos son organizados y graficados (ver FIGURA 49) según Moon et al. (2006) esta información es ayuda en la interpretación de la geología presente y es la razón para tomar la decisión de seguir adelante con la perforación o por el contrario finalizar las etapas de exploración.

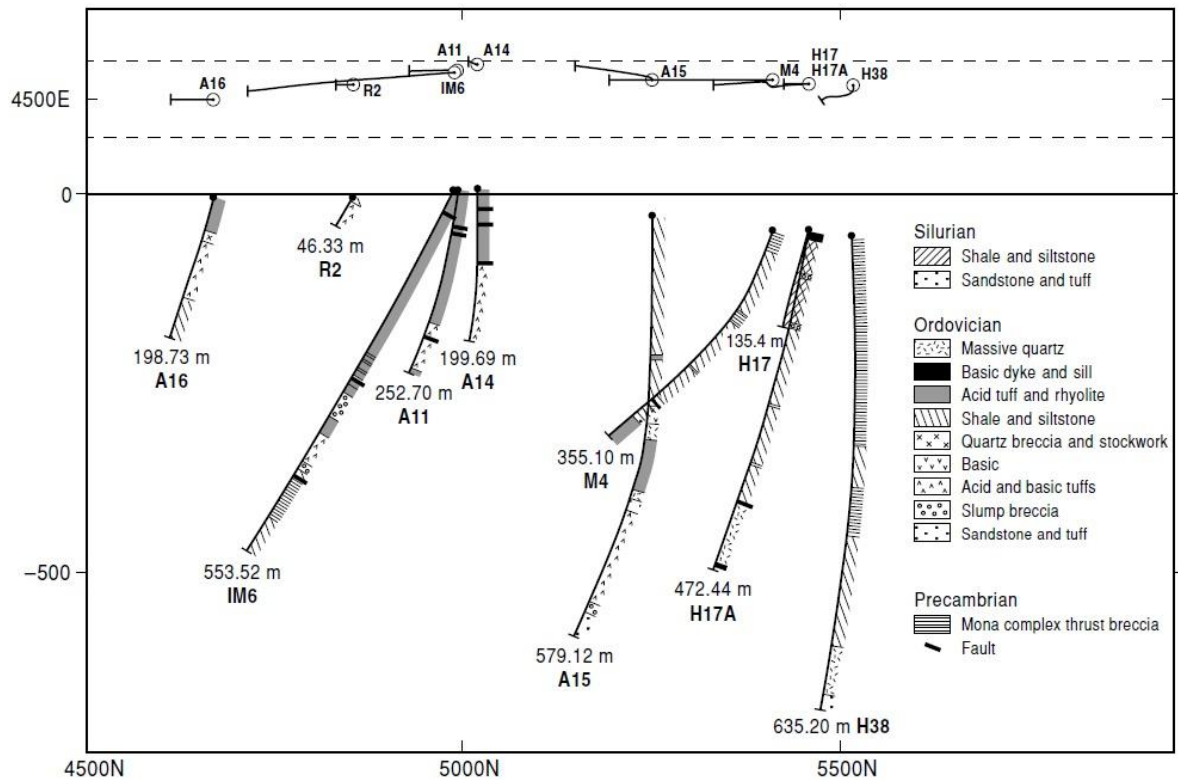


FIGURA 49. Correlación de pozos con descripción de logueo y RQD en el prospecto de la Montaña Parys Anglesey, Wales. Tomado de Moon et al. (2006).

Según Moon et al. (2006) la correlación de datos geológicos y geotécnicos es una herramienta eficiente en la identificación del comportamiento de la litología y mineralización debido principalmente por la cinética estructural del área (ver FIGURA 50). Para el presente deposito tipo vetítico, se prioriza en observar el comportamiento de la veta (¿donde se encuentra?) las zonas de cizalla son también un punto importante a tener en cuenta porque en la mayoría de los casos son indicadores de posible paso de fluidos.

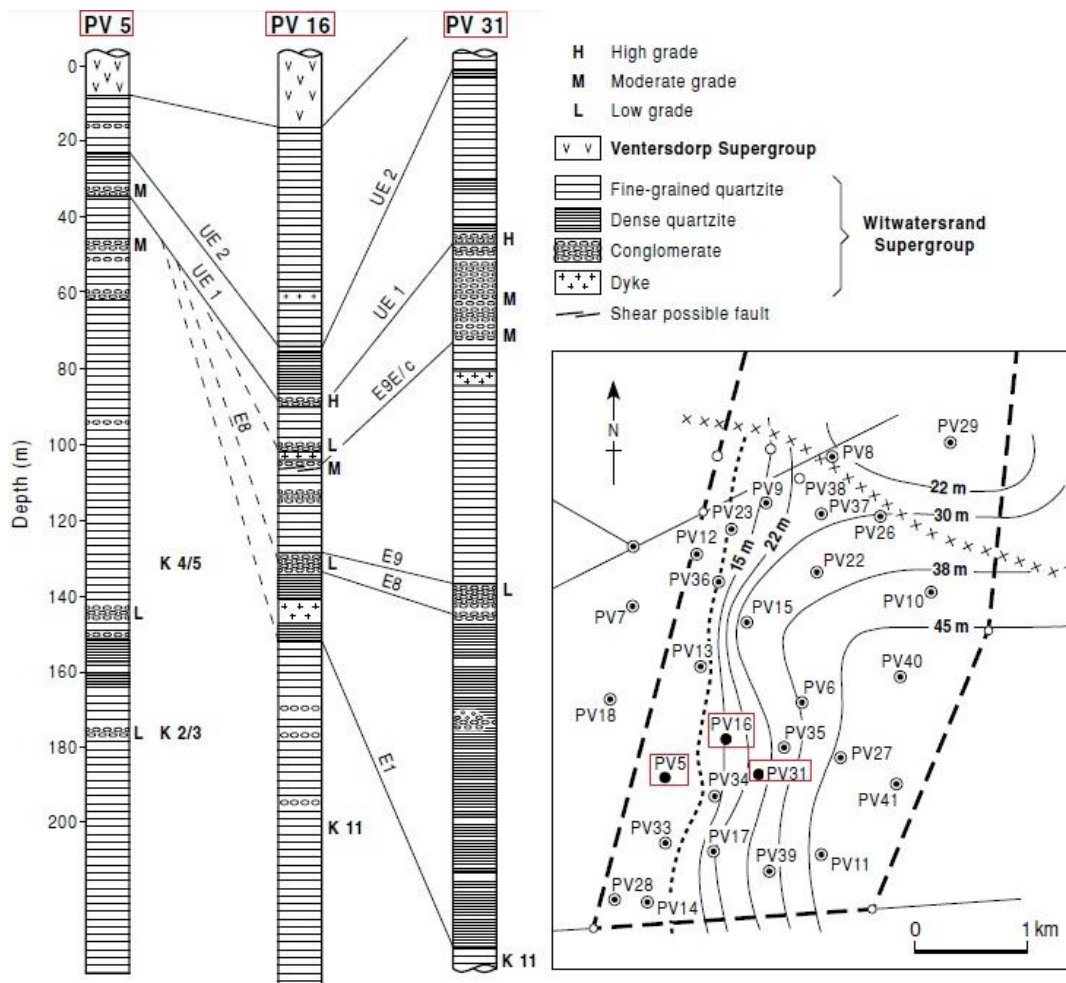


FIGURA 50. Correlación de tres log de pozos de perforación, y ubicación en la zona. Tomado de Moon et al. (2006).

5.2.3.1 Método

Logística de personal: el área a perforar debe ser adecuada por lo tanto el geólogo elabora un plan de trabajo con sus ayudantes de inicio de perforación, durante y la finalización de esta.

Toma de fotografías de cajas de núcleos de perforación

- Prepare el equipo de fotografía: cámara fotográfica, trípode para cámara fotográfica, Soporte para ubicar las cajas de núcleos, tablero con información del pozo. No se deben tomar fotografías en zonas donde el fondo de la caja sea diferente a un solo color.
- Uso de sus elementos de protección (guantes y botas de seguridad), debido a la manipulación de cajas
- Seleccione, organice y ordene de manera consecutiva los pozos: el inicio de las muestras debe quedar en el extremo superior izquierdo y el final en el extremo inferior derecho. En la parte superior de la caja se organiza la información del pozo; nombre del pozo “hole” (el nombre del pozo se conforma con la inicial del nombre del proyecto), además del número de la caja en el extremo derecho de la misma (ver FIGURA 51).
- Distribuir uniformemente la muestra a lo largo de la caja y se humedece para que se vea la roca en detalle.
- Capturar la imagen.
- Descargar y organizar las fotos en el computador.
- En el caso de que se ha necesario cortar la muestra, después de cortada y muestreada esta se debe fotografiar y organizar.

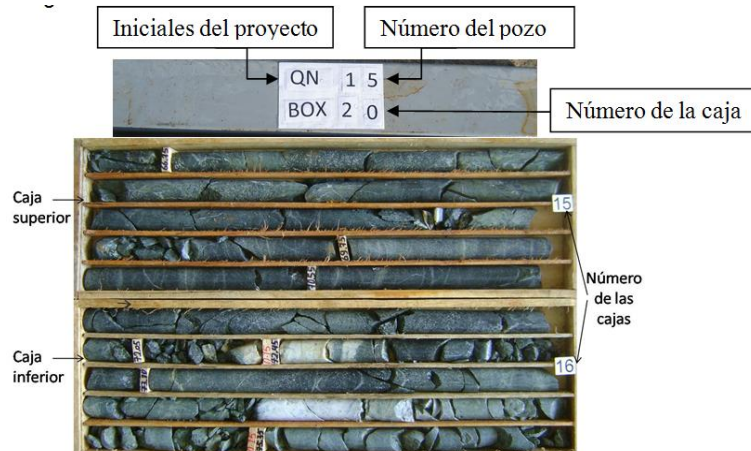


FIGURA 51. Fotografía de núcleos de perforación.

Metodología muestreo en núcleos de perforación:

- Verificar que las cajas a muestrear están ordenadas consecutivamente.
- Diferenciar y definir los materiales (litología, mineralización, estructuras, alteraciones....). En caso de veta, dependiendo de la consideración del geólogo, se lleva al laboratorio.
- Registrar toda la información en el formato control de núcleos de perforación: descripción de núcleos en formato de Logueo XGF-FOR-007 y formato de "logging recover" RQD XGF-FOR-008.
- Dependiendo de la consideración del geólogo se corta el núcleo en mitad o en cuartos.
- Empacar una mitad de la muestra.
- Por cada muestra se debe llenar una tarjeta de muestreo "Drill hole sample card".

Descripción de núcleos (Logueo) y estudio Geotécnico: el geólogo en cada pozo perforado describe las propiedades geológicas y elabora un estudio geotécnico.

Recolección de muestras de núcleos y análisis geoquímicos: después de conocer el pozo se seleccionan intervalos con posibilidades de tener valores anómalos y se envían a análisis geoquímicos.

5.2.3.2 Licencias muestreadas

Cada pozo perforado en cada licencia muestreada está identificado con las iniciales del lugar donde se perforo, el número de pozo, numero de caja e intervalos muestreados. Por lo tanto los pozos de Mina Quintana (licencia 6173) tiene la inicial de QM, los pozos de Quintana (licencia 5698) tiene la inicial de QN, los pozos de Quintana (licencia 745) tiene la inicial de QS y los pozos de la Licencia 6002 (Rosaleda) tiene la inicial de RS.

Sondeos mecánicos en Mina Quintana (licencia 6173) Pozos QM

En la etapa de exploración IV (exploración para indicar recursos) el programa de perforación en Mina Quintana (licencia 6173) tiene el objetivo de evaluar el potencial minero (analizando los resultados geoquímicos anómalos) e identificar la veta principal de la mina (identificando características geológicas que estén relacionados con la presencia de una veta) (ver FIGURA 52 y 54).



FIGURA 52. Pozo QM 01.

De la FIGURA 52 se observa entre: 11.30m-11.55m granodiorita, 11.55m-12.10m granodiorita fuertemente silicificada, 12.10m-12.48m esquistos cloríticos con discontinuas e irregulares venillas de cuarzo y calcita, 12.48m y 12.53m veta de cuarzo cristalino, 12.53m-15.06 esquistos cloríticos con discontinuas e irregulares venillas de cuarzo y calcita, además entre 14.50m-14.57m xenolito de cuarzo disgregado. Las venillas de cuarzo reflejan la cercanía de la veta principal, debido que posiblemente estas venillas son “ramificaciones” de una veta. La presencia de venillas de calcita es un indicativo de condiciones hidrotermales en el medio, además la silicificación y la cloritización son alteraciones hidrotermales características en este depósito de oro vetítico.

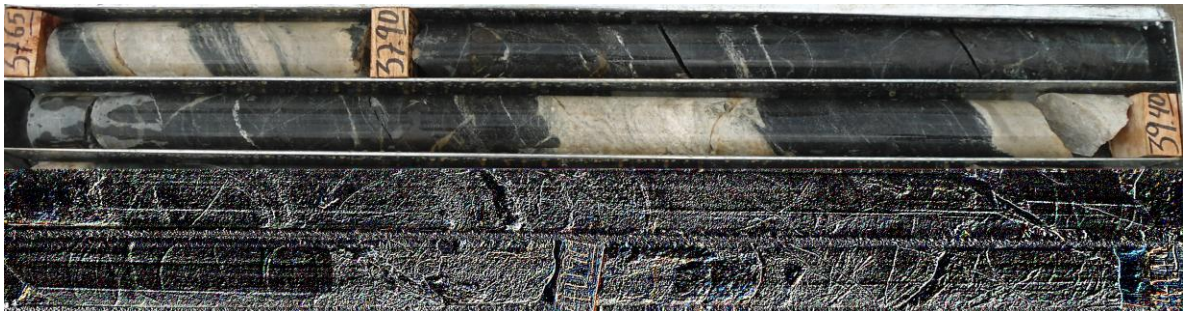


FIGURA 53. Pozo QM 01.

De la FIGURA 53 se observa entre: 37.65m-40.05m intrusión de dique entre esquistos cloríticos (contiene discontinuas e irregulares venillas de cuarzo) 40.05m-40.80m dique moderadamente clorítico (contiene discontinuas e irregulares venillas de clorita y cuarzo) 40.80m-41.05m contacto entre granodiorita fuertemente silicificada y granodiorita y 41.05m-41.40m dique moderadamente clorítico. Detalle que los contactos entre los diques y el esquistos cloríticos son semi-

paralelos posiblemente la intrusión de los diques se genera debido al fracturamiento del esquistos, es decir la intrusión fue favorecida por la acción conjunta de la dinámica tectónica que coincide con la dirección del plano de foliación del esquistos.

Sondeos mecánicos en Quintana (licencia 5698-745)

Licencia 745 (Quintana) Pozos QS

En la etapa de exploración III (exploración preliminar) el programa de perforación en Licencia 745 (Quintana) tiene el objetivo de identificar profundidades que indiquen zonas anómalas en base a la relación entre características geológicas (ver FIGURA 54) y datos geoquímicos.



FIGURA 54. Pozo QS 03.

De la FIGURA 54 se observa entre: 21.20m-23.02m roca muy fracturada posiblemente una zona de cizalla y 23.02m-24.45m granodiorita débilmente cloritizada con una marcada dirección de diaclasa entre 40-60 grados. Este pozo presenta 1.82m de zona de cizalla por lo tanto este intervalo es bastante interesante y ha sido muestreado para análisis geoquímicos, porque

geológicamente una gran zona de cizalla es un indicador de un sistema de fallamiento por donde es posible que se han transportados fluidos con minerales metálicos interesantes económicamente.

Licencia 5698 (Quintana) Pozos QN.

En la etapa de exploración III (exploración preliminar) el programa de perforación en Licencia 5698 (Quintana) tiene el objetivo de identificar profundidades que indiquen zonas anómalas en base a la relación entre características geológicas (ver FIGURA 55) y datos geoquímicos.



FIGURA 55. Pozo QN04 cortado en la mitad y muestreado.

De la FIGURA 55 se observa entre: 56.55m-59.02m esquisto clorítico y alteración argílica con irregulares y discontinuas venillas de cuarzo, 59.02m-59.13m roca totalmente triturada, 59.13m-59.64m esquisto clorítico, 59.64m-60.0m zona de cizalla y 60.0m-60.53m esquisto clorítico. Este intervalo de profundidad muestra una roca que ha sufrido metamorfismo (metamorfismo prógrado) alterada a clorita posteriormente fracturada y en algunas áreas cizallada debido al movimiento estructural.

Licencia 5698 (Quintana) es un área positiva en la fase de sondeos mecánicos (perforaciones) debido a que fue posible ubicar la veta mineralizada (fuente de los valores anómalos que se habían obtenido en la exploración en suelos) en base a análisis geológicos y geoquímicos. La siguiente fase es la elaboración de un túnel siguiendo la veta mineralizada para un posterior programa de explotación minero (ver FIGURA 56).

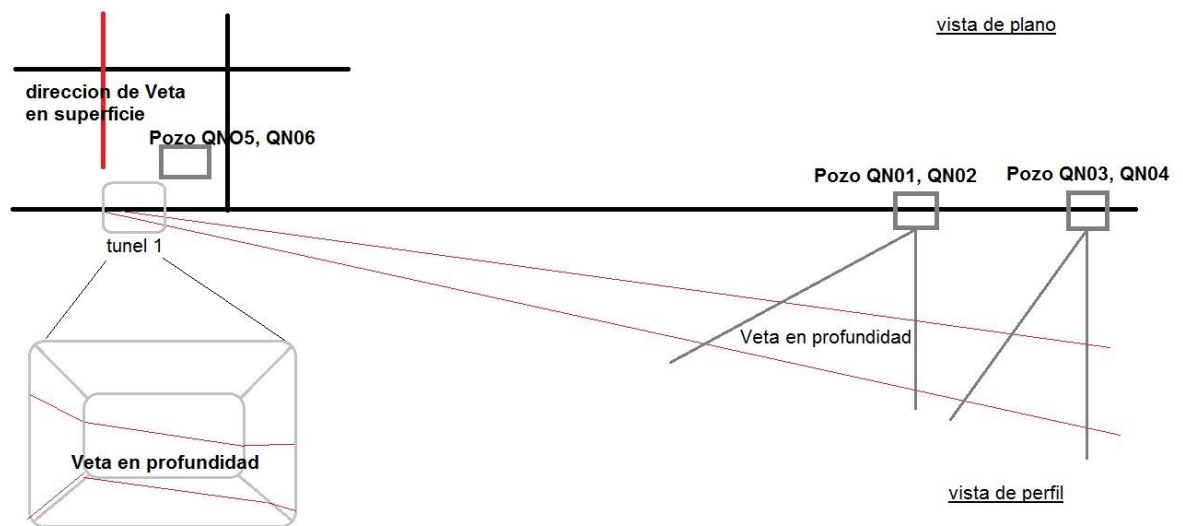


FIGURA 56. Diagrama de malla de perforación.

De la FIGURA 56, observe en vista de perfil que se hacen 2 perforaciones en un mismo punto: (1) a 90° y (2) cualquier otra inclinación para tener una mayor referencia del comportamiento de la veta (QN01, 02, 03 y 04). Las muestras que son recolectadas de estos pozos son llevadas al laboratorio, y después de un análisis geoquímico positivo se decide construir un túnel. Los pozos QN05 y QN06, son pozos geotécnicos con el objetivo de tener conocimiento de la estabilidad del túnel (ver FIGURA 57).

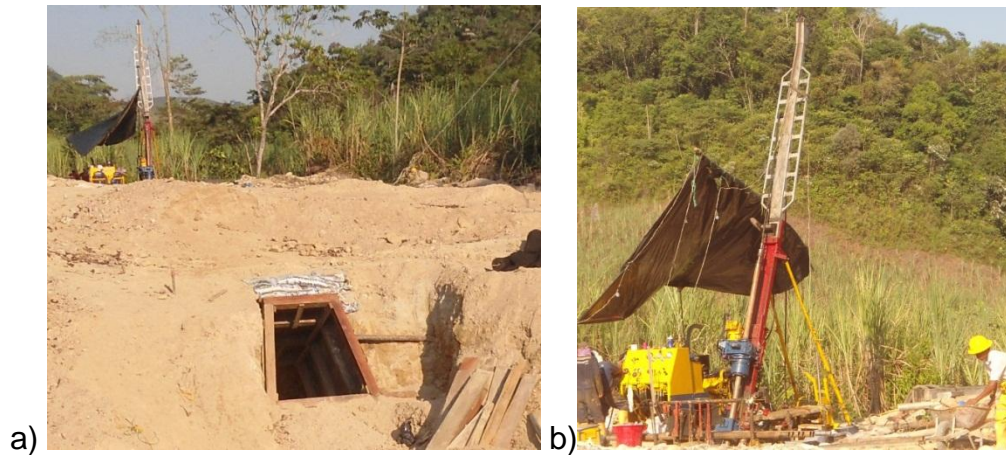


FIGURA 57. Proceso de exploración con perforación. a) Túnel de exploración y b) montaje de máquina de perforación.

5.2.3.3 Entregables

A continuación se enuncian los entregables para los pozos **QM** (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) **QN** (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21) **QS** (1, 2, 3, 4, 5, 6). La menor profundidad que se perforo es 63m y la mayor profundidad que se perforo es 174m.

- Base de datos de descripción de núcleos de Logueo y “*logging recover*” RQD, con anexo de fotografías de núcleos de perforación
- Descripción de núcleos en formato de Logueo, XGF-FOR-007.
- Descripción de núcleos en formato de “*logging recover*” RQD, XGF-FOR-008.
- Archivo fotográfico de fotos de los diferentes pozos

5.2.4 Actividad D: exploración litológica y estructural

La actividad D esta constituida por la exploración litológica y estructural esta es una fase donde se adquiere experiencia en campo y se aplican los conocimientos teóricos aprendidos.

La zona de estudio está constituida por una gruesa capa saprolítica que impide la visualización del sustrato rocoso “in situ” y en ocasiones no es la meteorización propia de la roca subyacente, es decir la ubicación de este sustrato rocoso es debido a procesos secundarios de re-movilización posiblemente como consecuencia de glaciales del periodo Pleistoceno. Evidenciado por rasgos de transporte de grandes bloques granodioríticos, pedazos de vetas redondeadas oxidadas flotantes en el saprolito con signos de estriamiento y redondeadas por el movimiento (Rodríguez, 2007). En este tipo de muestras la geoquímica de suelos no arroja resultados cercanos a la realidad, por lo tanto el trabajo de interpretación geológica está fundamentado en trabajos mineros y los datos de núcleos de perforación.

5.2.4.1 Ámbito litológico en licencia N° 6173 (Mina Quintana)

El ámbito litológico en exploración se evidencia en base a los diferentes criterios de exploración propios del depósito (ver TABLA 3).

El área de estudio está constituida principalmente por dioritas que varían texturalmente (masiva a ligeramente laminadas) y composicionalmente (cuarzo dioritas, granosioritas y gabros hornbléndicos). Además, el tipo de alteración (silicificado, cloritizado, FeOx) e intensidad (débil, Moderada, fuerte) de los materiales varía enormemente y no existe un patrón definido, es decir esta variabilidad se encuentra a grandes o en pequeñas distancias (ver FIGURA 58).

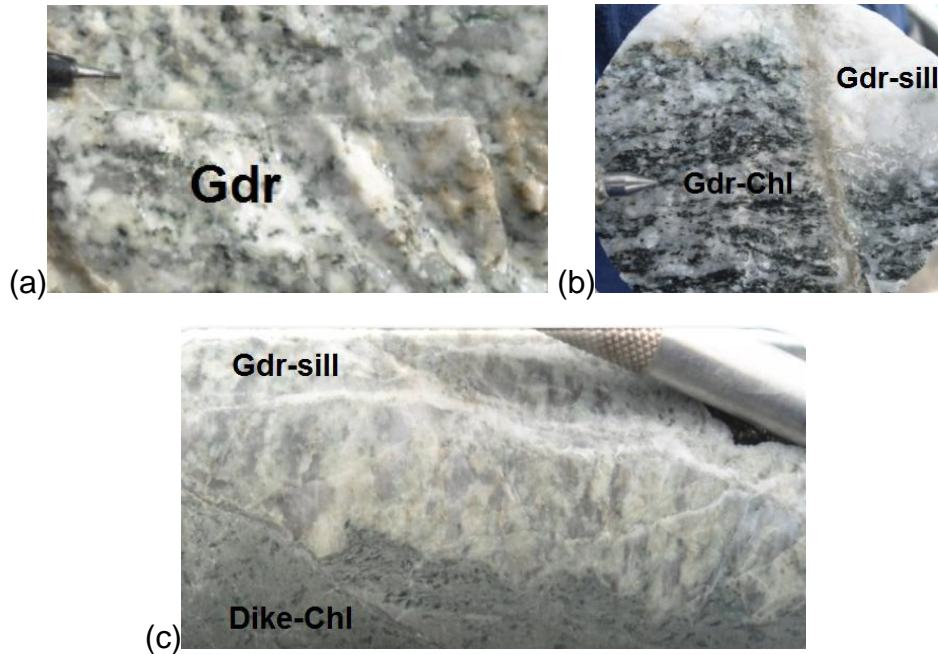


FIGURA 58. Litología general del área de estudio.

De la FIGURA 58 (a) Granodiorita (Gdr) (b) contacto entre Granodiorita moderadamente cloritizada (Gdr-Chl) y Granodiorita fuertemente silicificada (Gdr-Sill) y (c) contacto entre Granodiorita fuertemente silicificada (Gdr-Sill) y dique fuertemente cloritizado (dike-Chl). En (b) detalle la Granodiorita moderadamente cloritizada ligeramente laminada además de la fractura rellana de clorita, que describe una micro-falla normal. Observe el halo de alteración que se forma en (c) detalle los cristales de clorita foliados, posiblemente un contacto metamórfico debida a la intrusión del dique en granodiorita.

La ocurrencia de la mineralización en Mina Quintana es variable, es posible observar generalmente pirita-calcopirita diseminada tanto en la roca granodiorita, en los diques cloritizados, en los esquistos hornbléndicos así como en venillas, fracturas y contactos entre dos materiales diferentes (dique-Gdr). Las zonas de cizalla representadas por la gran cantidad de arcilla y roca triturada entre la roca

caja (granodiorita) u otros materiales, son áreas de gran interés que inmediatamente son analizadas geoquímicamente y que arrojan positivos resultados, como es de esperarse por tratarse de zonas de transporte en el ascenso de los elementos incompatibles y para este caso auríferos que interesan en la empresa.

Las vetas mineralizadas (pirita-galena-calcopirita) en los pozos es la razón de búsqueda en exploración, las vetas cuarzosas son el fluido rico en mineralización aurífera que precipito y esta “in situ”, por lo tanto se convierte en el elemento más importante de encontrar en exploración (ver FIGURA 59 y 63).

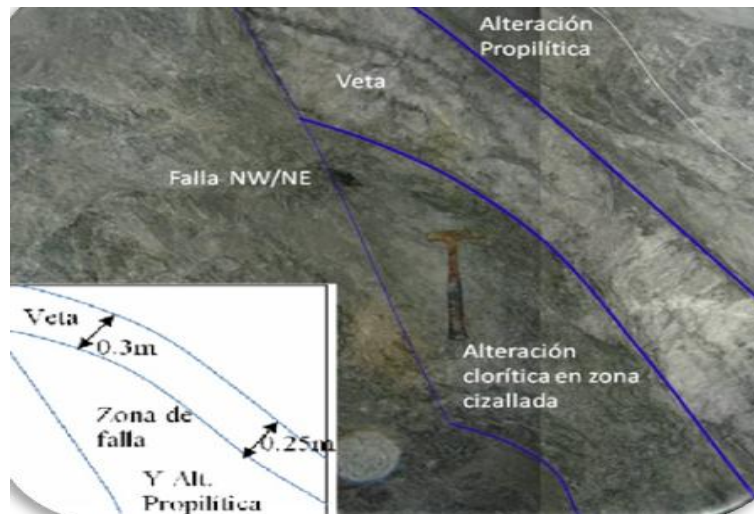


FIGURA 59. Frente de avance en mina Quintana, nivel 1 Norte. Tomado de Moreno (2008).

De FIGURA 59 se observa que la veta en esta parte se presenta con un espesor promedio de 0.3m, en el techo se presenta alteración propilítica, a la base de la veta se observa alteración clorítica en zona de cizalla, se aprecian sulfuros en

forma de nódulos. Observe la falla NW/NE que desplaza los materiales (Moreno, 2008).

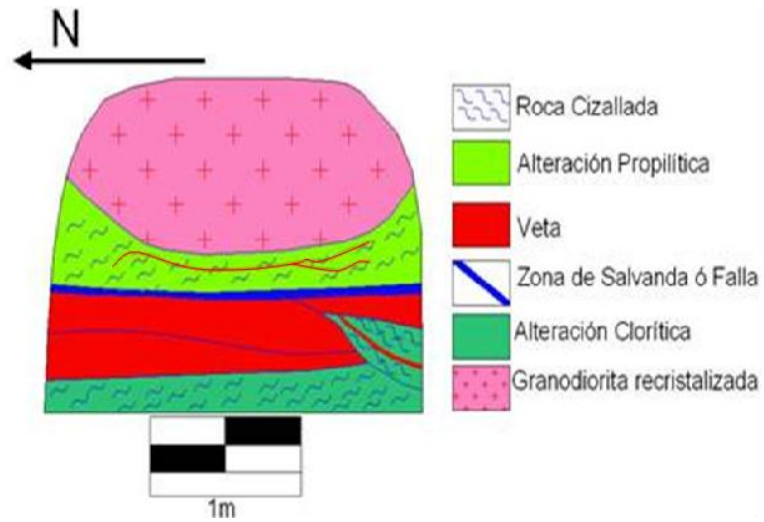
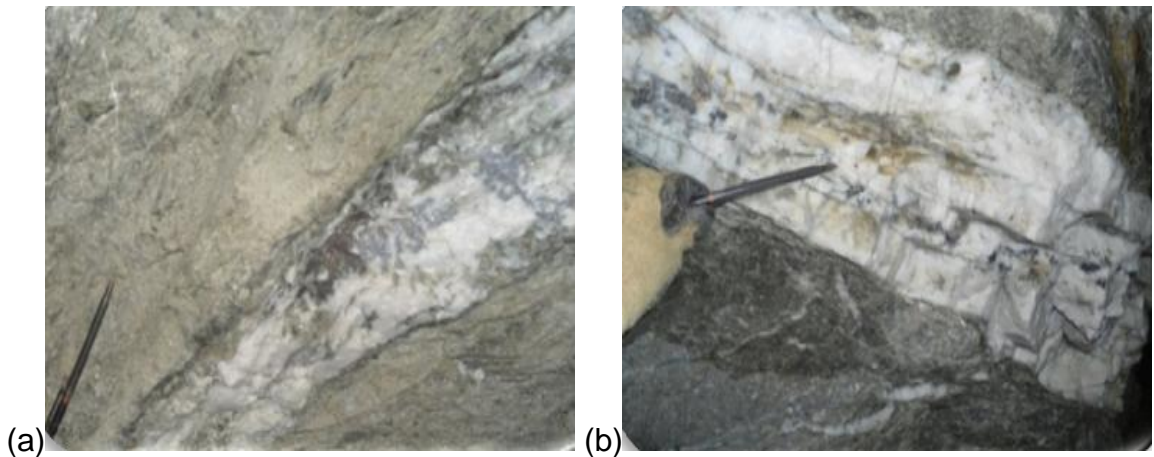


FIGURA 60. Frente de avance en mina Quintana, nivel 3 Norte. Tomado de Moreno (2008).

De FIGURA 60 se observan dos vetas diferentes, la principal veta Quintana y otra conectada a esta divididas por un plano de falla, la veta superior presenta un alto porcentaje de sulfuros a comparación de la inferior con un porcentaje menor al 2% de sulfuros, hacia el sur la veta con alto contenido de sulfuros se pincha y gana espesor hacia el norte (Moreno, 2008).

5.2.4.2 Minerales Mena

La ocurrencia de los minerales sulfurosos se presenta por medio de delgadas, irregulares y discontinuas líneas que se abren desde un parche (ver FIGURA 61). La pirita es el mineral más abundante de los sulfurosos, aparece en parches en el cuarzo y disperso en la roca caja, además se encuentra galena, calcopirita-esfalerita (ver FIGURA 62).



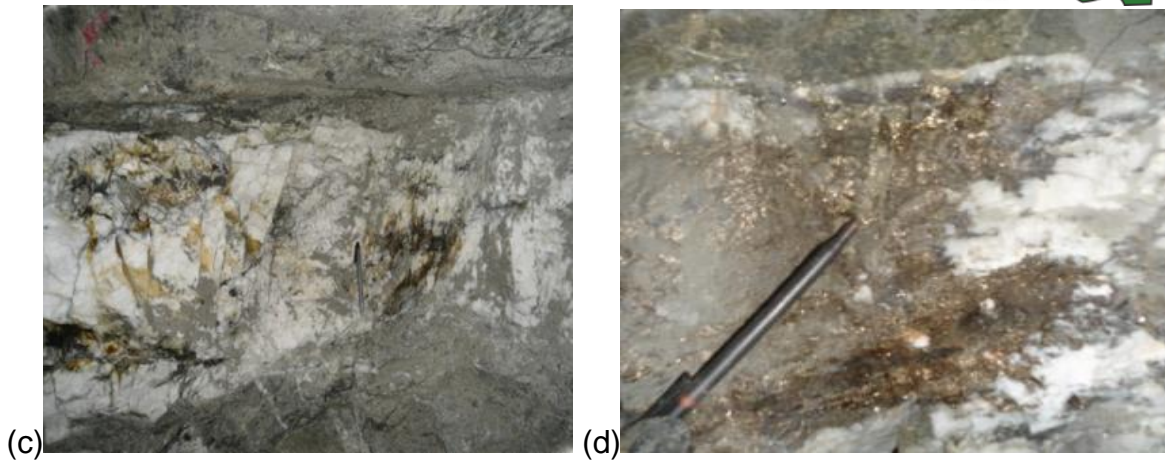


FIGURA 61. Vetas y venillas mineralizadas presentes en Mina Quintana.

De la FIGURA 61 se observa que: (a) venilla de cuarzo muy mineralizada en el avance del nivel 3, donde la veta se adelgaza pero presenta una gran variedad de mineralización. Detalle que el contacto entre la veta y la granodiorita se encuentra cloritizado. (b) Veta de cuarzo mineralizada. Detalle como la mineralización (galena) se encuentra entre las fracturas de la veta. La veta en la mina está caracterizada por la presencia de galena, pirrotita, esfalerita y pirita (nivel 5). (c) Observe que la mineralización se encuentra entre las fracturas, la estructura de precipitación de los metales es dúctil (nivel 5). (d) Veta de cuarzo mineralizada, detalle la presencia de pirrotita.

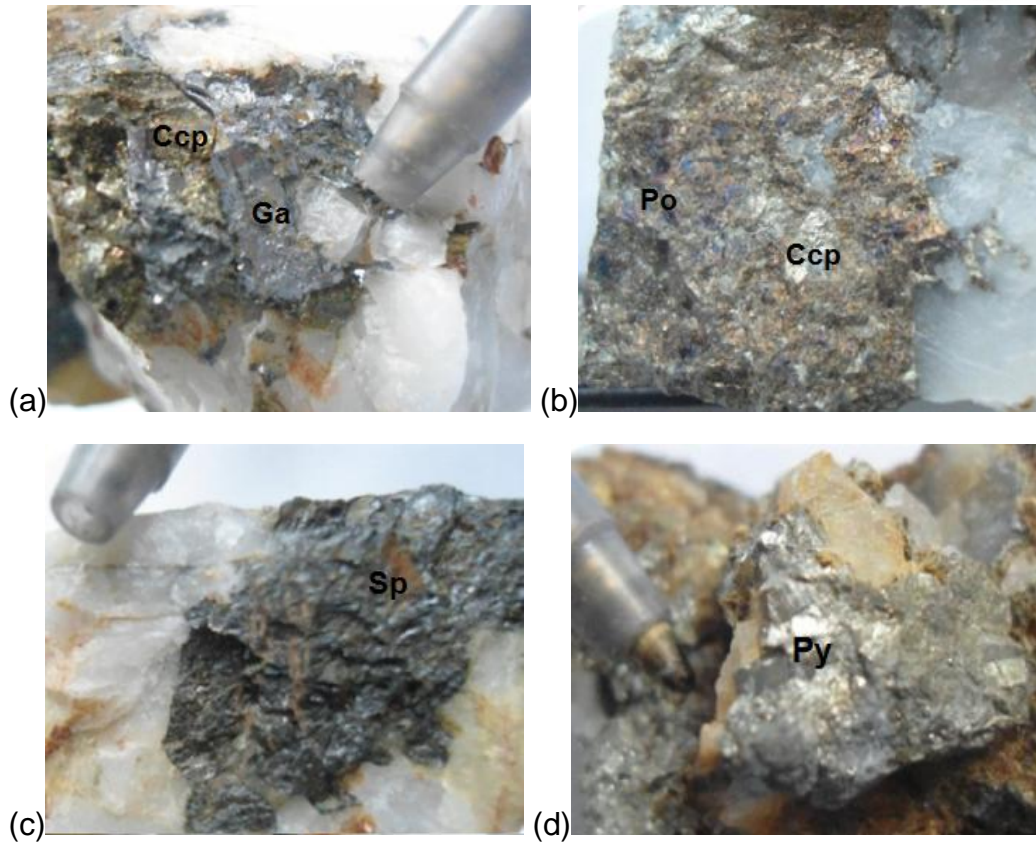


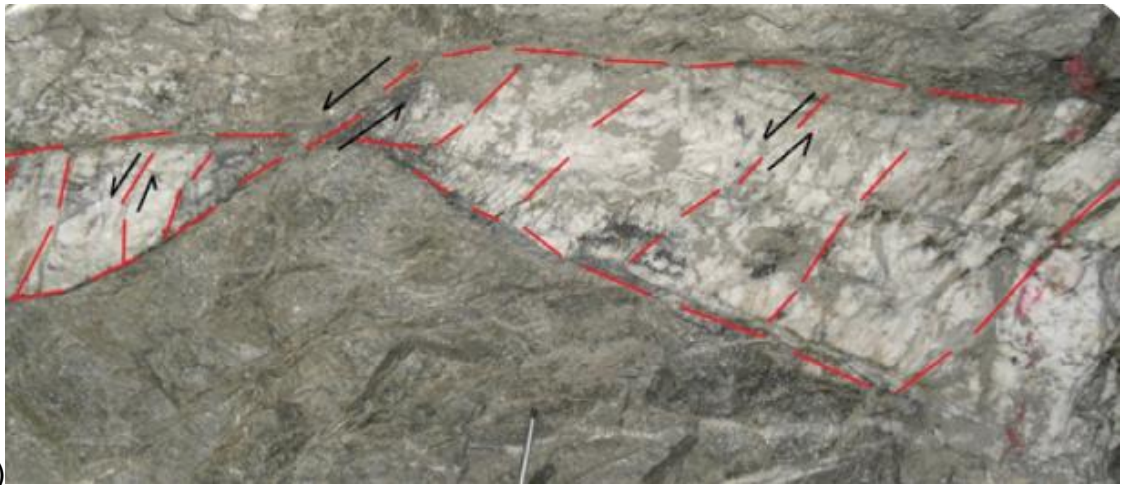
FIGURA 62. Mineralogía de la nomina (mineralización) (a) Galena (Ga) con Calcopirita (Ccp) (b) Pirrotita (Po) con calcopirita (Ccp) (c) Esfalerita (Sp) y (d) Pirita. Abreviaturas de las fases minerales según Whitney et al. (2010).

5.2.4.3 Minerales Ganga

Los minerales ganga en el área de estudio principalmente esta constituida por cuarzo fracturado (lechoso-masivo y cristalino-enjambre de cristales) y en pequeñas proporciones calcita, clorita y sericita (Rodríguez, 2007).

5.2.4.4 Ámbito estructural en licencia N° 6173 (Mina Quintana)

El análisis estructural en Mina principalmente es la presencia de estructuras tipo Duplex y Cola de caballo las cuales son estilos estructurales de precipitación de metales en depósitos vetíticos de oro (ver ANEXO B) además son abundantes las venillas de cuarzo en cintas o bandas de deformación y fracturamiento sigmoidal.



(a)

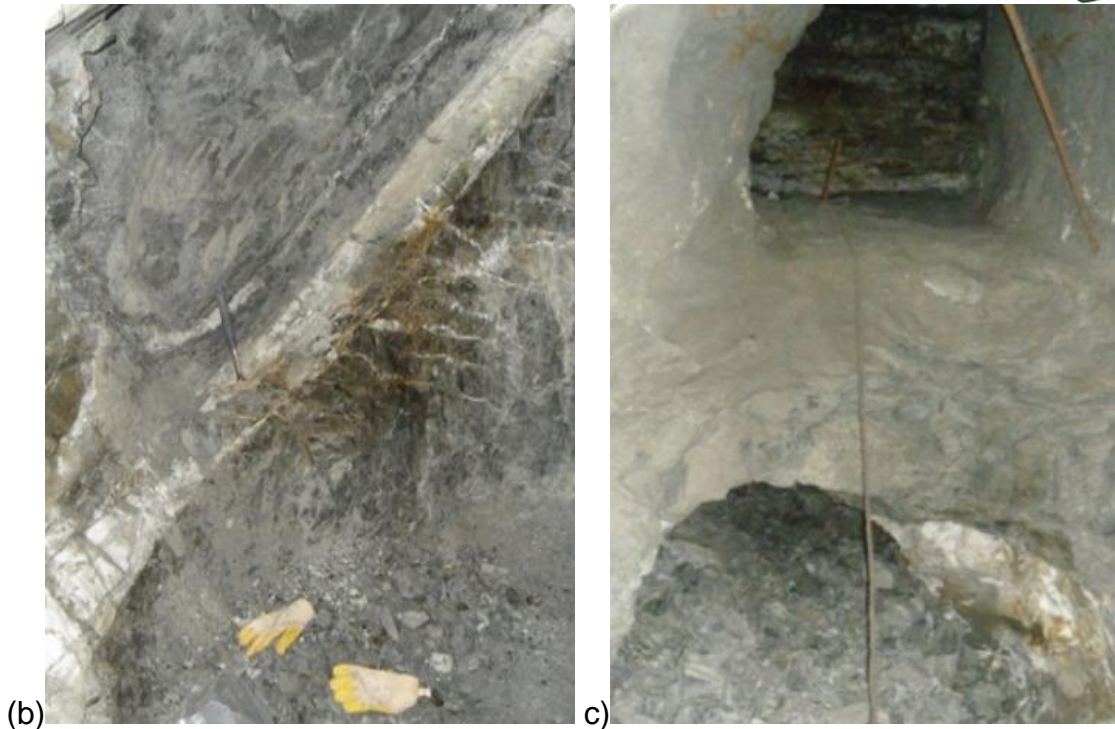


FIGURA 63. (a) Mineralización de transición dúctil - frágil, (b) estructura sigmoide vetítica y (c) sistema de explotación de dos vetas paralelas.

De la FIGURA 63 detalle (a) la ocurrencia de la veta es en forma de cuña, es la unión de una zona de apertura-cierre-apertura en un sistema de fallas de extensión, es la mineralización típica en una zona de deformación de transición dúctil - frágil, posiblemente depositada en estructuras dúplex (nivel 5). (b) lazo sigmoide de veta, la estructura de precipitación de la mineralización es una zona de transición frágil - dúctil (nivel 3). (c) Formación de dos vetas, donde se explota únicamente la veta y la roca queda en la mitad de estas dos como soporte para las paredes de la mina (véase el ANEXO B).

5.2.5 Actividad E: recolección, descripción y organización de muestras de tunelería y de frentes de explotación en las licencias matrona y Quintana

La actividad E es el momento donde se muestrea la veta principal de la Mina con el objetivo de monitorear el porcentaje de oro, el espesor y el estilo estructural de esta. Por lo tanto se debe determina la dirección estructural de la veta (rumbo y dirección) y características sobresalientes de la estructura, con el objetivo de generar un modelo de la veta principal de la Mina y decidir el recorrido mas productivo de explotación.

5.2.5.1 Método

El método de muestreo se realizo en la veta tanto a lo largo del túnel (tunelería) como en cada uno de los frentes de explotación (ver TABLA 2).

TABLA 2. Metodología de muestreo en túneles. Tomado de Naranjo (2008).

| METODOLOGIA DE MUESTREO | | | | |
|-------------------------|-----------|---|---|---|
| PROGRAMA | EQUIPO | CONDICIONES | PASOS | |
| Tuneles | Tunelería | un cincel, un martillo y una bolsa plástica de completamente limpia | se muestrea solo la estructura | (1)Inspeccionar y limpiar el área de trabajo. (2) Limpiar (picar y/o raspar) muy bien la superficie sobre la que se va a tomar la muestra. (3) Definir claramente la longitud de la estructura y los respaldos. (4) Cada 10 m se deben muestrear mínimo 0.6 m de uno o ambos respaldos (en caso de que sea posible). (5) Se debe muestrear el ancho de la veta midiendo lo mas perpendicular posible a su buzamiento. El ancho máximo de muestreo no puede exceder los 2.0m. (6) Definir si se realiza canal continuo o discontinuo |
| | Frentes | un cincel, un martillo y una bolsa plástica de completamente limpia | En este caso el espesor corresponde a la altura de la labor que se esta muestreando | (1)Inspeccionar y limpiar el área de trabajo. (2) Limpiar (picar y/o raspar) muy bien la superficie sobre la que se va a tomar la muestra. (3) Definir claramente la longitud de la estructura y los respaldos. (4) Definir si se realiza canal continuo o discontinuo |

Según Naranjo (2008) durante el muestreo es importante definir si se realiza canal continuo o discontinuo:

Canal continuo: se debe realizar un canal de 10 cm de ancho por 2.5cm de profundidad y máximo 2m de longitud en los respaldos. Para el muestreo de vetas o estructuras (fallas y zonas de cizallamiento) se debe hacer un canal orientado, perpendicular a la dirección de las líneas imaginarias de contacto techo y piso de la estructura, se debe realizar un canal para el respaldo inferior, un canal para la veta o la estructura y un canal para el respaldo superior (ver FIGURA 64).

Canal discontinuo: se seleccionan áreas máximo de 0.1mx2m por muestra describiendo cual es la frecuencia por metro en la toma de esquirlas.



FIGURA 64. Método de muestreo aplicado tanto en tunelería como en frente de explotación. Muestreo de canal perpendicular al contacto con la roca caja. Tomado de Naranjo (2008).

5.2.5.2 Licencias muestreadas

Matrona (Licencia 8411): esta licencia esta contenida de una gran variedad de Túneles y avances mineros antiguos. El túnel “nuevo” (ver FIGURA 65) es un avance de 48m constituido por una veta mineralizada y fracturada. En este túnel abundan las estructuras Duplex las cuales son favorables para la precipitación de metales en depósitos vetíticos de oro (ver ANEXO C). La relación entre la anterior información y los 90 Datos geoquímicos obtenidos del muestreo de tunelería indican que toda la veta no contiene la misma cantidad de sulfuros ya que estos minerales no precipitan continuamente en toda la veta. Es decir es posible obtener valores anómalos altos en una veta pero a pocos metros de esta misma obtener ausencia de anomalías.



FIGURA 65. Veta principal de Licencia 8411 (Matrona).

La Mina Quintana (Licencia 6173-8411): La Mina sigue una veta principal de rumbo Norte-Sur buzando al Este, el espesor de la veta es variable pero es una estructura continua tanto en rumbo como en buzamiento (ver FIGURA 63). La

mina está dividida en sector Norte y Sur, además esta distribuida en 5 niveles de explotación que aumentan de profundidad (ver FIGURA 66).

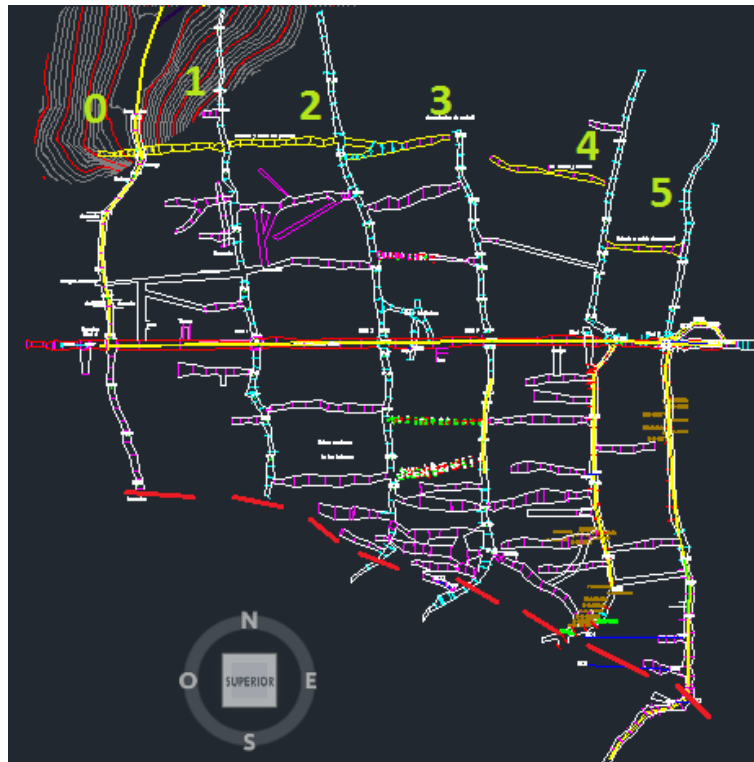


FIGURA 66. Mapa de infraestructura y desarrollo de la Mina Quintana. Tomado de Moreno (2008).

La relación entre el conocimiento de las características sistema de fallas en extensión; estructuras tipo Duplex y Cola de caballo en Mina y los datos geoquímicos obtenidos del muestreo de tunelería indican que el sector Sur es más productivo que el sector Norte.

5.2.5.3 Entregables

-Base de datos de muestreo de tunelería y frente de túnel de la Mina Quintana (Licencia 6173-8411) y de la Mina Matrona (Licencia 8420), en archivo Excel con números de muestras, tipo de muestra: veta de cuarzo (ancho, dirección, mineralización), tipo de roca (litología, ancho, alteración) y/o tipo de suelo (color, textura, presencia de fragmentos de cuarzo o/y roca).

-Organización de muestras: Muestras empacadas en bolsas de plástico ordenadas con su respectivo número de inventario consecutivo en costales de fibra organizados consecutivamente.

5.3 ELABORACIÓN DE AVANCES MENSUALES PARA LA UNIVERSIDAD

La elaboración de avances mensuales es un método propio del geólogo de exploración, donde se informa lo que se ha realizado en el trabajo. El orden del tema de los informes se realiza con la intención de explicar la metodología que sigue el departamento de geología en la empresa, en la exploración y explotación minera.

5.4 ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL

La elaboración del informe final es una fase que consiste en la preparación del informe final del proyecto desarrollado haciendo uso de las normas estándares para la presentación de informes institucionales Según Torres (2008). El proyecto está basado en el desarrollo de los objetivos propuestos, presentando los resultados obtenidos de la investigación en la experiencia en exploración mineral en cuerpos vetíticos en QUINTANA SAS.

6 IMPLICACIONES EN LA EXPLORACION DE NUEVOS DEPOSITOS MINERALES

Se reúnen las características propias del depósito orogénico aurífero, para manejar una metodología de búsqueda de un depósito similar.

6.1 CRITERIOS DE EXPLORACIÓN “EXPLORATION TARGET”

Los criterios de exploración “*exploration target*” son las principales características del depósito (cada una de estas es valorada con un porcentaje a consideración del autor) de esta manera, se priorizan características del depósito como metodología para la exploración de mineralización (ver TABLA 3). En superficie un claro criterio de exploración es la presencia de los óxidos de hierro y magnesio (suelos supremamente rojizo) provenientes de la oxidación de las estructuras vetíticas. Otro criterio de exploración a simple vista es la presencia de grandes bloques rodados de cuarzo oxidados entre las quebradas de las colinas, posiblemente las estructuras vetíticas se encuentran dispersas en las partes altas de las colinas (Rodríguez, 2007).

TABLA 3. Criterios de exploración para depósitos auríferos.

| CRITERIOS DE EXPLORACION | PORCENTAJE | PORCENTAJE ACUM. |
|---|------------|------------------|
| Ambiente tectónico: convergencia de placa oceánica-continental seguido de la formación de cuenca forearc. | 5 | 5 |
| Sistema montañoso constituido principalmente por colinas y drenaje dendrítico. | 5 | 10 |
| Sistema estructural de falla regional (sistema estructural Otú-Pericos). | 20 | 30 |
| Actividad de intrusión de magma. | 8 | 38 |

| | | |
|--|----|-----|
| La presencia de Cuarzos rodados entre las quebradas, como indicar de la presencia del cuerpo vetítico en los filos de las colinas. | 20 | 58 |
| Roca caja fuertemente diaclasada y fracturada | 9 | 67 |
| Rocas caja fuertemente alterada (cloritización, silicificación, oxidación). | 13 | 80 |
| Suelos rojizos (hidróxidos de hierro y magnesio). | 7 | 87 |
| Vetas de cuarzo. | 7 | 94 |
| Mineralización en la Veta (Pirita-Pirrotina-Esfalerita-Galena) | 6 | 100 |

6.2 ÁREAS DONDE ESPERO ENCONTRAR YACIMIENTOS SIMILARES

A continuación se presentan áreas donde es posible encontrar yacimientos similares en base a la evolución tectónica del planeta. Goldfarb et al. (2001) menciona que desde el arcaico hasta el presente se han generado eventos tectónicos-magmáticos que posibilitan la presencia de depósitos oro orogénico (ver FIGURA 67).

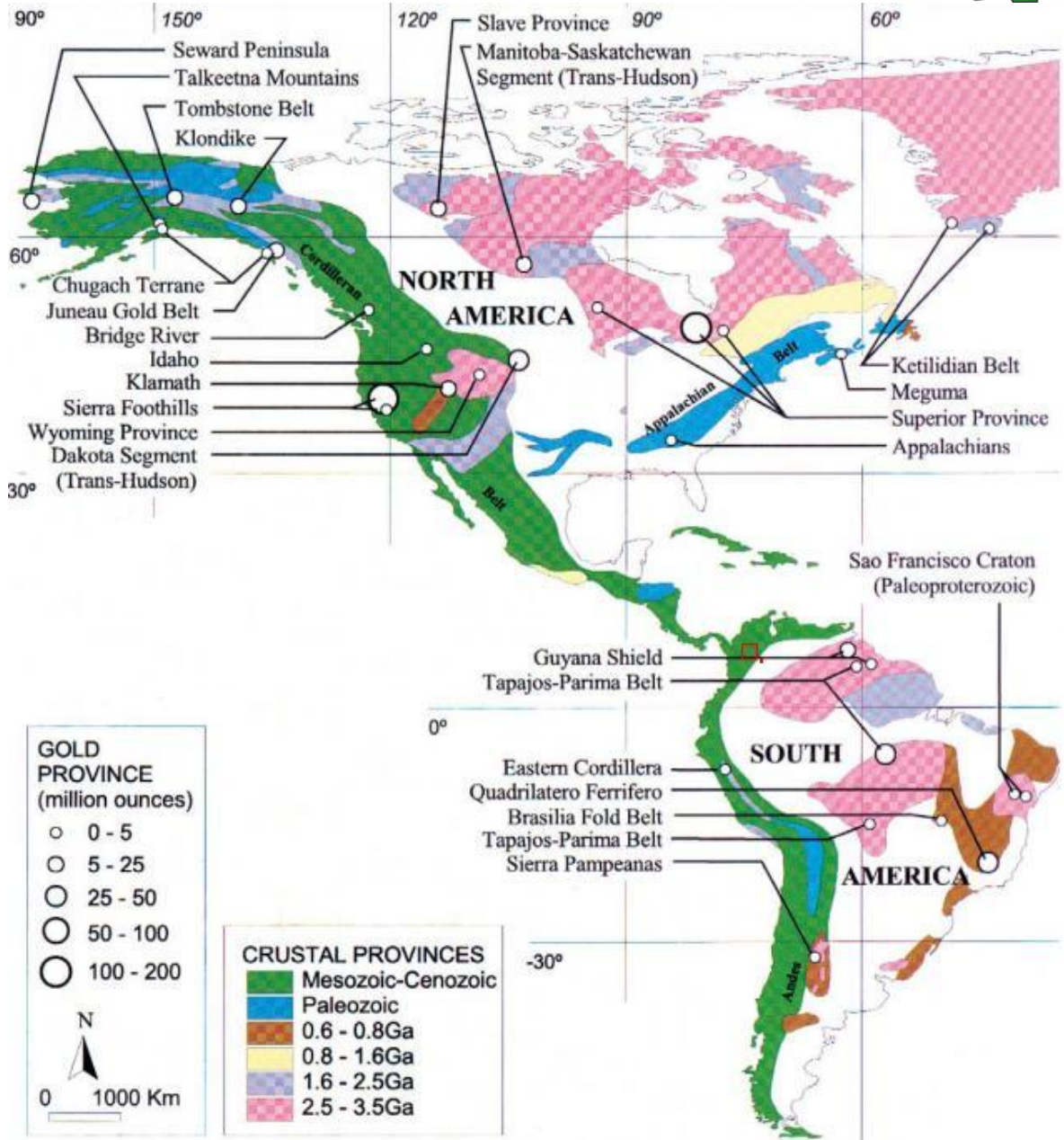


FIGURA 67. Mapa de la distribución de la corteza del continente Americano en relación con la edad y la distribución de los principales filones orogénicos de oro. Modificado de Goldfarb et al. (2001).

De la FIGURA 67 detalle el área de estudio (cuadrado rojo) ubicada en el evento orogénico más reciente propuesto por Goldfarb et al. (2001).

6.3 DEPÓSITOS OROGÉNICOS SIMILARES EN COLOMBIA

Los depósitos orogénicos similares en Colombia se ubican principalmente en la orogenia de los sistemas montañosos andinos, el cual es un evento donde la participación de movimientos tectónicos ha generado los actuales yacimientos de minerales con importancia económica. En Colombia existen provincias geológicas con alto potencial para minerales económicos, el principal es la Cordillera Occidental (3 eventos metalogénicos: Cretáceo, Paleógeno y Neógeno) seguido de la Cordillera Central (2 eventos: Triásico-Jurásico, Neógeno) la Cordillera Oriental (1 evento; Triásico-Jurásico) y finalmente el Escudo de Guayana (1 evento: proterozoico) (Buenaventura, 2006) (ver TABLA 4).

TABLA 4. Metalogénesis aurífera en Colombia. Tomado de Buenaventura J (2006).

| MEGA-PROVINCIAS | PROVINCIAS METALOGENICAS | EPOCAS METALOGENICAS | TIPOS DE DEPOSITOS | ZONAS POTENCIALES |
|--------------------|---|---|---|--|
| SISTEMA DE GUAYANA | PROVINCIA METALOGENICA DEL ESCUDO | PROTEROZOICO (Metasedimentos) | Metaconglomerados Vetas y venillas Oro bioquímico Placeres recientes | Serranía de Naquén Serranía del Taraira Serranía de Caranacoa |
| | PROVINCIA METALOGENICA CENTRAL | MESOZOICO (Triásico-Jurásico-Cretáceo) (Magmatismo ácido a intermedio) | Pórfidos Cu-Mo-Au; Skarn Cu-Pb-Zn-Au; Carlin-Jasperoide; Epitermales; Mesotermales. | Batolito Ibagué-Mocoa, Batolito de Antioquia Macizo de Santander; Terreno Payandé Batolito de Segovia Serranía de San Lucas Batolito Ibagué-Mocoa Cajamarca-Salento |
| | | CENOZOICO (Neógeno) (Magmatismo calcoalcalino) | Epitermales de metales preciosos; Placeres recientes | |
| SISTEMA ANDINO | PROVINCIA METALOGENICA OCCIDENTAL | MESOZOICO (Cretáceo) (secuencias ofiolíticas) | SMV-SEDEX (Cu-Pb-Zn-Au) | Terreno Cañas Gordas-Dagua |
| | | CENOZOICO (Paleógeno) (Magmatismo calcoalcalino) | Pórfidos Cu-Au; Epitermales de metales preciosos | Batolito de Mandé Batolito de Piedrancha Batolito de Anchicayá Batolito de Acandí Batolito de Farallones |
| | CENOZOICO (Neógeno) (Magmatismo calcoalcalino) | Epitermales de metales preciosos; Brechas pipe Placeres recientes | Batolitos de Mandé, Piedrancha, Anchicayá, Acandí y Farallones Terreno Cañas Gordas, Marmato-Supia-Riosucio; Diamante-Bomboná; Ginebra. | |
| | PROVINCIA METALOGENICA SIERRA NEVADA-LA GUAJIRA | MESOZOICO (Triásico-Jurásico) (Magmatismo alcalino) CENOZOICO (Paleógeno-Neógeno) ? (Magmatismo calcoalcalino) | Pórfidos Cu-Au ?; Epitermales de metales preciosos? Epitermales de metales preciosos? Placeres recientes | Sierra Nevada, La Guajira Sierra Nevada, La Guajira |

7 DISCUSIONES

Se enuncian y analizan 2 principales temas desarrollados: (1) Características de depósitos tipo orogénico, donde el autor presenta las evidencias para deducir que el depósito estudiado es de tipo orogénico y (2) análisis de anomalías geoquímicas, donde el autor relaciona los valores anómalos y el sistema de fallas con el objetivo de diferenciar entre anomalías geoquímicas verdaderas y falsas.

7.1 CARACTERÍSTICAS DE DEPOSITOS TIPO ORO OROGÉNICO

El depósito en el área de estudio según el autor es considerado de tipo orogénico en base a la relación entre las referencias tectónicas del área y evidencias litológicas encontradas en exploración, además de la relación entre la paragénesis mineral referenciada y la mineralización explorada.

7.1.1 Características tectónicas y fisicoquímicas del depósito orogénico

Durante la construcción del Territorio Colombiano; debido a varias acreciones sucesivas de terrenos alóctonos con basamentos continentales y oceánicos (ver FIGURA 9) se generan una gran variedad de procesos que dan lugar a la presencia de la mineralización aurífera. Según Goldfarb et al. (2001) en una margen activa carente del desarrollo de una zona de extensión “forearc” es posible encontrar importantes depósitos minerales de oro, pero no será un ambiente favorable para depósitos de oro orogénico.

Goldfarb et al. (2001) menciona que en base a la fusión parcial de la corteza del bloque en subducción asociado con el metamorfismo prógrado se genera la liberación de fluidos metamórficos portadores de oro emplazados a lo largo de las estructuras (ver FIGURA 69). Para el área de estudio el metamorfismo prógrado se refleja en la descripción del pozo QS 03 (ver FIGURA 55) donde entre 56.55m-

60.53m de profundidad se presenta una roca que ha sufrido metamorfismo (metamorfismo prógrado) alterada a clorita (esquisto clorítico) posteriormente fracturada y en algunas áreas cizallada debido al movimiento estructural. Las áreas de cizalla características de los depósitos orogénicos están representadas en la descripción litológica del pozo QS 03 entre 21.20m-24.45m de profundidad (ver FIGURA 54) donde se observa 1.82m de zona de cizalla seguido de granodiorita marcadamente diaclasada. Esta zona de cizalla es un indicador de un sistema de fallamiento por donde es posible que se han transportados fluidos con minerales metálicos interesantes económicamente.

A partir del metamorfismo prógrado, el fluido es liberado de los minerales hidratados existentes en rocas en proceso de deshidratación y rocas con componente máfico como grauvacas para que posteriormente se libere y precipite el oro cuando estas rocas (deshidratadas y máficas) se transformen a esquistos verdes y anfibolitas (Manco, 2010). En ocasiones estas fracturas posteriores al metamorfismo son rellenadas por fluidos con mineralización aurífera pero otras veces son rellenados por diques. En la FIGURA 53 se describe en términos generales el pozo QM 01 entre 37.65m-41.40m de profundidad, donde se observa la relación entre la intrusión de diques de diferente mineralogía en el esquisto contenido de venillas de cuarzo. Detalle los contactos semi-paralelos entre los diques y el esquisto clorítico, posiblemente la intrusión de los diques es favorecida por el fracturamiento del esquisto.

Goldfarb et al. (2001) menciona que los terrenos acrecionados en el Paleozoico localizados en América del Sur, han sido erodados durante Mesozoico-Cenozoico por medio de la subducción entre la placa de Nazca debajo de la migración hacia el oeste de la placa Sur Americana (ver FIGURA 12). Por lo tanto posiblemente entre el Mesozoico-Cenozoico (ver FIGURA 67) en el área de estudio se genera en profundidad un proceso de convergencia de placa a nivel regional seguido de un proceso de metamorfismo prógrado. Y en superficie se presentan procesos de extensión desarrollándose como consecuencia una zona “forearc”, haciendo posible la intrusión de mineralizaciones de oro favorecido por el fracturamiento de cuerpos ígneos y metamórficos debido a que; estos materiales no soportan los diferentes movimientos tectónicos que estaban sucediendo tanto en superficie como en profundidad.

7.1.2 Análisis de Paragénesis mineral

En la FIGURA 61 se describe la mineralogía de la nomina en Mina Quintana (licencia 6173) donde es posible observar Galena (Ga) con Calcopirita (Ccp) Pirrotita (Po) con calcopirita (Ccp) Esfalerita (Sp) y Pirita. Los sulfuros mencionados anteriormente pertenecen Según Manco (2010) a la fase II (Mineralizante) donde ocurren las condiciones favorables para la ocurrencia de mineralización aurífera y de sulfuros en base a la acción de barrera fisicoquímica por parte de la pirita brechifica.

En Mina Quintana (licencia 6173) se ha determinado como mineralogía de la ganga principalmente el cuarzo y en pequeñas proporciones Calcita, Clorita y Sericita. En la FIGURA 8 se observa que el Cuarzo recristaliza en el transito de una fase mineral a otra fortaleciendo el sistema ante los eventos cataclásticos - deformacionales que se producen. Además Manco (2010) ubica a la Clorita+Sericita en la etapa (C) de la fase II (Mineralizante) donde se produce la deformación de los minerales previamente formados (anfíboles, micas, feldespatos...).

Por lo tanto principalmente la pirita y el cuarzo son minerales esenciales en depósitos de tipo vetítico además es característica la presencia de Clorita+Sericita como minerales que reflejan deformación en las rocas granodioritas (muy abundantes en el área de estudio).

7.2 ANALISIS DE ANOMALIAS GEOQUIMICAS

El análisis de anomalías geoquímicas es una herramienta de bastante cuidado en la búsqueda de la mineralización aurífera. Se deben relacionar altos valores anómalos de la superficie con las predominantes características geológicas del área tales como alineamientos estructurales que permiten indicar áreas que ayudan a la ubicación de vetas en profundidad. Además se debe tener en cuenta los materiales presentes en la superficie, de lo contrario es posible tomar decisiones equivocadas al ignorar la presencia de elementos contaminantes.

En la FIGURA 27 se presenta un mapa de suelos de Licencia 5698-745 (Quintana) donde es posible observar una sobresaliente zona anómala que esta relacionada con la veta principal de Mina Quintana (licencia 6173) detalle en la parte inferior de la figura pequeñas áreas anómalas sin ninguna relación entre ellas, ni con las estructuras geológicas, posiblemente son áreas anómalas falsas. En la FIGURA 33 se presenta un mapa de suelos de Licencia 6002 (Rosaleda) donde es posible observar un grupo de áreas anómalas alineadas en sentido NE que concuerda con el alineamiento de la falla corazones. Las anteriores zonas anómalas identificadas en base a los mapas de suelos están bastante relacionadas con los lineamientos NE-SW (F3) y NW-SE (F4) mencionados en el tema 2.3 TECTONICA REGIONAL del presente estudio, los cuales son característicos por ser sistemas de fallamiento que cortan la dirección principal; la Falla Otú-Pericos. Por lo tanto las áreas anómalas determinadas están relacionadas con el sistema regional de carácter estructural; la Falla Otú-Pericos (ver FIGURA 7).

CONCLUSIONES

La mineralización de oro vetítico del distrito minero Remedios-Segovia está controlada estructuralmente por la dinámica cinética regional de la falla de Otú-Pericos y por los subsistemas de lineamientos NNE-SSW, NE-SW y NW-SE que constituyen el sistema de cizallas asociado al ascenso, removilización y reemplazamiento del magmatismo tipo filón.

El depósito estudiado según el autor es considerado de tipo orogénico en base a la relación entre las referencias tectónicas del área y evidencias litológicas encontradas en exploración, además de la relación entre la paragénesis mineral referenciada y la mineralización explorada.

La pirita y el cuarzo son minerales importantes en la precipitación de la mineralización aurífera; mientras que la pirita brechífica permite la precipitación del oro y los sulfuros, actuando como una barrera fisicoquímica. El cuarzo por su parte recristaliza y como consecuencia fortalece el sistema ante los eventos cataclásticos - deformacionales que se generen.

La identificación de áreas anómalas de prospección utilizando el método de relacionar los datos geoquímicos y mineralógicos obtenidos en la fase preliminar y las características geológicas (evolución tectónica y sistemas de fallas) a escala regional obtenidas en la fase de prospección, se comprueba que minimiza posibles errores en la identificación de anomalías y posibilita pensar en nuevos objetivos de exploración.

La identificación de las áreas no favorables y el estudio detallado de las que sí lo son, es un proceso basado en análisis geoquímicos. Este es un método de reducción progresiva del tamaño del objetivo, donde en cada etapa de la exploración preliminar el área objetivo va teniendo mayor probabilidad de ser un yacimiento.

La identificación a tiempo de las anomalías geoquímicas generadas por efectos de contaminación (principalmente debido a descuidos de sustancias químicas usadas en agricultura y minería tradicional) reduce esfuerzos, costos y tiempo.

En la prospección geoquímica preliminar el método más indicado para la recolección de muestras de suelo es establecer los polígonos de muestreo a un intervalo de profundidad de 0.50m-0.70m y a una distancia de 40m entre muestras, en promedio se recolectan 233 muestras de suelo por 1km².

En la prospección geoquímica preliminar el método más indicado para la recolección de muestras de suelo, roca y/o veta en trincheras es establecer los polígonos de muestreo continuo a un intervalo de profundidad de 1.40m-1.50m a una distancia de 2m entre muestras, en promedio se recolectan 500 muestras de suelo por 1km².

A partir de características físicas y químicas de la muestra de roca de cada núcleo de perforación, tales como alto fracturamiento, grandes zonas de cizallamiento y alteraciones hidrotermales, es posible identificar intervalos de roca con altas posibilidades de contener valores anómalos.

La presencia de veta con o sin mineralización en el pozo de perforación es un indicativo con posibilidades de contener altos valores anómalos, porque se trata del fluido precipitado que transporta los diferentes metales.

Todas las vetas no contienen minerales metálicos, debido a que las vetas es decir los fluidos son originados de diferentes pulsos y fuentes de origen, por lo tanto todas las vetas no tienen las mismas características.

Toda la veta no contiene la misma cantidad de sulfuros ya que estos minerales no precipitan continuamente en toda la veta, por lo tanto es posible obtener valores anómalos altos en una veta, pero a pocos metros de esta misma obtener ausencia de anomalías.

El control de los principales procesos físico-químicos que alteran las condiciones normales en el medio ambiente tales como: la extracción del mineral, procesado del mineral y residuos químicos en el proceso de explotación de los minerales es un factor principal en el sostenimiento de la minería ecológica, exitosa y organizada.

En Colombia el potencial mineral incrementa Este-Oeste, lo cual esta muy relacionado a la evolución tectónica del país, donde se generaron diferentes eventos metalogénicos en diferentes ambientes geológicos, algunos favorables para la generación de yacimientos minerales preciosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ÁLVAREZ GALINDEZ, M,; ORDÓÑEZ CARMONA, O,; VALENCIA MARIN, M,; ROMERO HERNÁNDEZ, A. 2007. Geología de la zona de influencia de la falla de Otú en el distrito minero de Segovia-Remedios. Bol., Dyna. 153:6-8.

Disponible en:< <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v74n153/a05v74n153.pdf> >

BESOAIN, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. IICA, 1205p. San Jose-Costa Rica.

Disponible en:< http://books.google.com.co/books?id=pfL7oUpzI1QC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false >

BUENAVENTURA, J. 2006. Potential areas for precious and base metal exploration in Colombia. Instituto colombiano de geología y minería INGEOMINAS subdirección recursos del subsuelo.

CARDALES BARRIOS, A. 1962. Mapa general del Municipio de Remedios, Escala 1:80.000.

CARLES MELGAREJO, J,; PROENZA, J,; GALI, S,; LLOVET, X. 2010. Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. Bol., Sociedad Geológica Mexicana., 62(1):17-20.

Disponible

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140533222010000100002&script=sci_abstract >

DELGADO, G. 2010. Ecología política de la minería en América latina: Aspectos socio-económicos, ecológicos y ambientales de la mega minería. Centro de investigaciones interdisciplinarias en ciencias humanas. Universidad autónoma de México.

DUQUE, G. 2007. Formación del sector Norte de los Andes (Colombia).

Disponible en:< http://godues.blogspot.com/2007_12_01_archive.html >

ECHEVERRY CASTAÑEDA, S.; CÁRDENAS VERA, A.; ORDÓÑEZ CARMONA, O.; y MUÑOZ AGUIRRE, O. 2009. Aspectos estructurales y relaciones de algunos sistemas vetiformes del distrito minero Segovia-Remedios. Bol., CIENCIAS DE LA TIERRA., 26:3-8.

Disponible

en:<

<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=169516256003> >

EINSELE, G. 1991. Sedimentary Basins. Springer-Verlag Germany. Springer-Verlag, 632 pag. Berlín-Alemania.

FLÓREZ, A. 2003. Colombia evolución de sus relieves y modelados. UNA, 241p. Medellín-Colombia.

Disponible

en:<

http://books.google.com.co/books?id=bOZIGkStun8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false >

GONZÁLEZ, H. 2001. Memorias y Mapa geológico del departamento de Antioquia. Escala 1:500.000.

GOLDFARB, R. J., GROVES, D.I., GARDOLL, S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews.*, 18:23-57.

Disponible

en:<

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136801000166> >

KENNAN, L.; PINDELL, J. 2009. Dextral shear, terrane accretion and basin formation in the northern Andes; best explained by interaction with a Pacific-derived Caribbean Plate., *PREPRINT.*, 21-27.

Disponible

en:<

http://www.tectonicanalysis.com/site/download/Kennan_Pindell_2009_Northern_Andes_PREPRINT.pdf >

MANCO, J. Paragénesis mineral y micro-termometría en inclusiones fluidas de los sistemas vetiformes del distrito minero Segovia-Remedios en el área de la Frontino Gold Mines (FGM). Nordeste Antioqueño. Trabajo de grado, UNA., 38p. Medellín-Colombia.



MOON, C.; WHATELEY, M.; EVANS, A. Introduction to mineral exploration, 2006. 225-226p, 350-353p.

MORENO, Y. 2008. Informe interno de Mina Quintana (Licencia 6173-8411) numero 31.

NARANJO RUIZ, C. 2008. Programa de exploración de geología en QUINTANA SAS (informe interno numero 21).

ORDOÑEZ CARMONA, O.; PIMENTEL, M. 2001. Consideraciones Geocronológicas del Batolito Antioqueño. Bol., Col., Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., 25(94):2.

OYARZUN, R. 2011. Introducción a la geología de minas, exploración y evaluación. Ediciones GEMM, 184p. Madrid-España.

Disponible en:< <http://eprints.ucm.es/13269/> >

RÍOS, N. 2010. Programa de desarrollo de planta y laboratorio en QUINTANA SAS (informe interno numero 89).

RODRÍGUEZ ÁLVARES, R. 2007. Aproximación a la evolución metalogénica y afinidad al modelo de oro orogénico de los depósitos minerales del sector norte de la cordillera central de Colombia.



Disponible en: <<http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/Oro-orogenico-Colombia.pdf> >

SANTOS CALDERON, J. 2012. Palabras del Presidente Juan Manuel Santos en el Primer Congreso Anual de Minería a Gran Escala.

Disponible en: <http://wsp.presidencia.gov.co/Prensa/2012/Febrero/Paginas/20120223_07.aspx >

TAMHANE, R. 1978. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Diana, 483p.

Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=UjbXjwEACAAJ&dq=Suelos:+su+qu%C3%ADmica+y+fertilidad+en+zonas+tropicales&source=bl&ots=hr6aMxrB2P&sig=x0le nWtpDRqDr80jIJ23n8FxfY&hl=es&sa=X&ei=z_smUPWjJ4Xe8wSsrIHQBA&ved=0CC4Q6AEwAA >

TORRES, H. 2008. Guía de estándares para la presentación de informes institucionales. Grupo SINGEO. INGEOMINAS.

TOUSSANT, G. 1993. Evolución geológica de Colombia. UNA, 242p. Medellín-Colombia.

Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=KyleAQAAMAAJ&q=EVOLUCI%C3%93N+GEOL%C3%93GICA+DE+COLOMBIA++toussaint&dq=EVOLUCI%C3%93N+GEOL%C3%93GICA+DE+COLOMBIA++toussaint&source=bl&ots=7zRUKQfK_2&sig=_BxK3hsNs89mYuOM3JRM7_lloXY&hl=es&sa=X&ei=d_4mUN_cHomm8qS644DQAg&ved=0CC4Q6AEwAA >



WHITNEY, D; EVANS B. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist. 95:3.

Disponible en: <
http://www.minsocam.org/msa/ammin/toc/Abstracts/2010_Abstracts/Jan10_Abstracts/Whitney_p185_10.pdf >

PAGINAS WEB CONSULTADAS

ESCALANTE, M. Ciencias de la Tierra – Geoquímica inorgánica.

Disponible en: < <http://littlebullet2.tripod.com/Paginas/geoquimica.htm> >

HIGUERA P., OYARZUM R. Yacimientos minerales.

Disponible en: < <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/MarcoNuevo.htm> >

RODRÍGUEZ ÁLVARES, R. Unal Minas.

Disponible en: < <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/> >



ANEXO A

UBICACIÓN EN EXPLORACIÓN

UBICACIÓN EN EXPLORACIÓN

En campo la ubicación de los puntos no puede estar basada únicamente por el GPS (no funciona correctamente en zonas boscosas) debe estar complementado por el trabajo de brújula, mapa (determinar las unidades geomorfológicas) y de la experiencia del trabajador guía de la zona.

Antes de desplazarse al área de trabajo es importante marcar las rutas de evacuación; la ruta de trabajo para el explorador debe ser inicialmente cubrir las áreas más lejanas para al finalizar la jornada terminar con las áreas mas cercanas. En el momento que exista un punto interesante que no este dentro del plan de trabajo, este punto debe ser incluido, es decir el geólogo debe ser un explorador curioso que acepte información nueva (túneles, venillas, vetas que se encuentran se deben ubicar en el GPS).



ANEXO B

DEPOSITOS DE ORO OROGENICO; YACIMIENTOS AURIFEROS VETÍTICOS

DEPOSITOS DE ORO OROGENICO; YACIMIENTOS AURIFEROS VETÍTICOS

Los depósitos de oro mesotermal (venas de cuarzo y oro); “*Mother Lode*”; Filones de oro arcaico, se presentan en diferentes litologías (rocas ígneas, metamórficas...) según Goldfarb et al. (2001) en edades desde el Precámbrico hasta el Mesozoico, es decir que se encuentran emplazados en un amplio rango de profundidades. Por lo cual se ha determinado que el término “mesotermal” no es aplicable en su totalidad mientras que la afinidad de este tipo de depósitos con las orogenias es consecuente (toda orogenia es precedida por la migración de fluidos originarios de diferentes fuentes) por lo tanto se menciona este tipo de sistemas como depósitos de oro orogénico (Rodríguez, 2007). Por otra parte el termino oro orogénico hace referencia al proceso tectónico de formación del deposito y el termino oro vetítico hace referencia a la manera como esta emplazado el deposito, el autor considera los dos anteriores términos como similares porque en base al movimiento orogénico entre una placa tectónica y otra se generan una serie de procesos geológicos que originan un yacimiento con mineralización aurífera depositado en forma de filón o vetítica.

Según Goldfarb et al. (2001) para la formación de depósitos de oro orogénico es necesario que en una margen activa exista el desarrollo de una zona de extensión “forearc” donde sea posible el sistema de fracturamiento a nivel regional que favorezca el ascenso de fluidos hidrotermales (ver FIGURA 68).

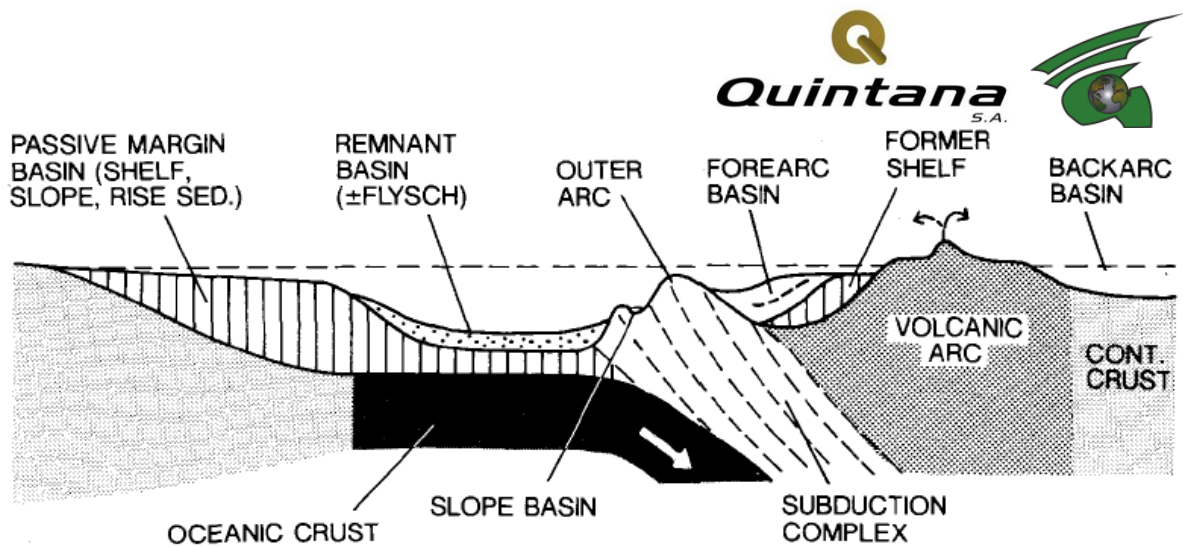


FIGURA 68. Evolución de una cuenca durante la convergencia de placas tectónicas. Tomado de Einsele (1991).

Según Goldfarb et al. (2001) en base a la fusión parcial de la corteza del bloque en subducción asociado con el metamorfismo progrado se genera la liberación de fluidos metamórficos portadores de oro emplazados a lo largo de las estructuras (ver FIGURA 69). Es decir que según Goldfarb et al. (2001) en depósitos de Oro Orogénico la fuente dominante de los fluidos es de origen metamórfico más que magmático, lo anterior bastante relacionado a Kerric & Fyte (1981) que aceptaron el proceso de devolatización química durante el metamorfismo prógrado como el modelo de generación principal de fluidos en este tipo de depósitos, donde el fluido es liberado de minerales hidratados existentes en rocas en proceso de deshidratación y rocas con componente máfico como grauvacas para que posteriormente se libere y precipite el oro cuando estas rocas (deshidratadas y máficas) se transformen a esquistos verdes y anfibolitas (Manco, 2010).

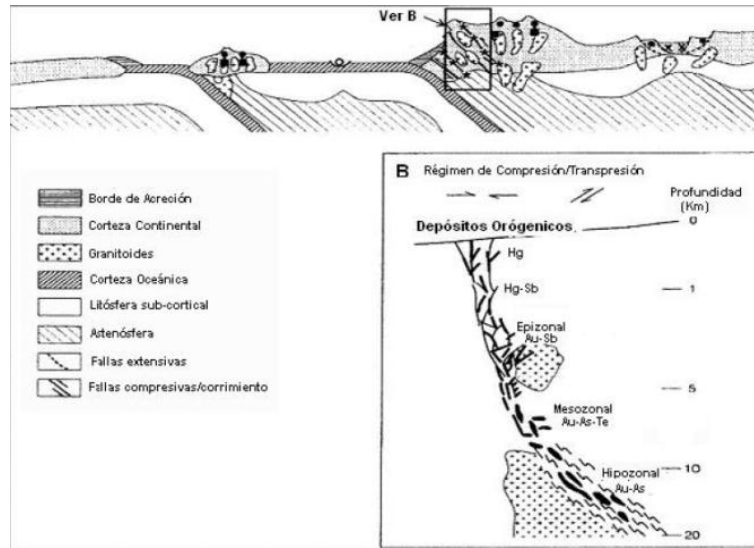


FIGURA 69. Modelo esquemático del complejo tectónico-magmático de postcolisión de terrenos. Tomado de Goldfarb et al. (2001).



ANEXO C

GUIAS ESTRUCTURALES Y DE MINERALIZACION

GUIAS ESTRUCTURALES Y DE MINERALIZACION

Algunas veces los movimientos tectónicos generan específicos sistemas de fallas, para el caso de los fenómenos de convergencia, extensión y transcurrancia se encuentran las fallas de transpresión (relacionado con la convergencia) y transtensión (relacionado con la extensión) (Rodríguez, 2007).

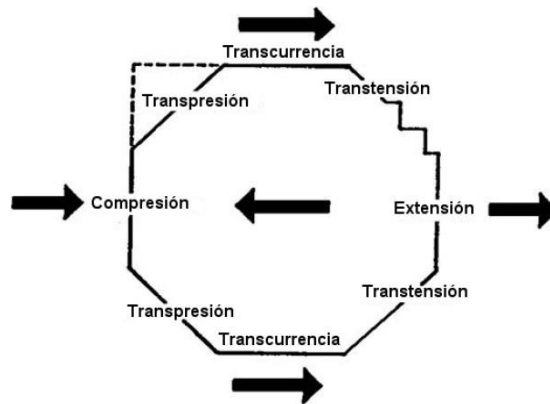


FIGURA 70. Fenómenos de transtensión y transpresión en un escenario de falla transcurrente. Tomado de <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>.

El estilo de mineralización vetítica depende de la profundidad y la temperatura (condiciones físico-químicas de precipitación) generando varios tipos de figuras estructurales (ver FIGURA 71). La temperatura es importante en estos tipos de depósitos, generalmente el oro orogénico se encuentra presente en el ascenso de temperatura de la corteza de media a alta (400-500 grados centígrados). En este ambiente es posible que los sulfuros sean liberados en el fluido hidrotermal durante el calentamiento de la corteza (<http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>).

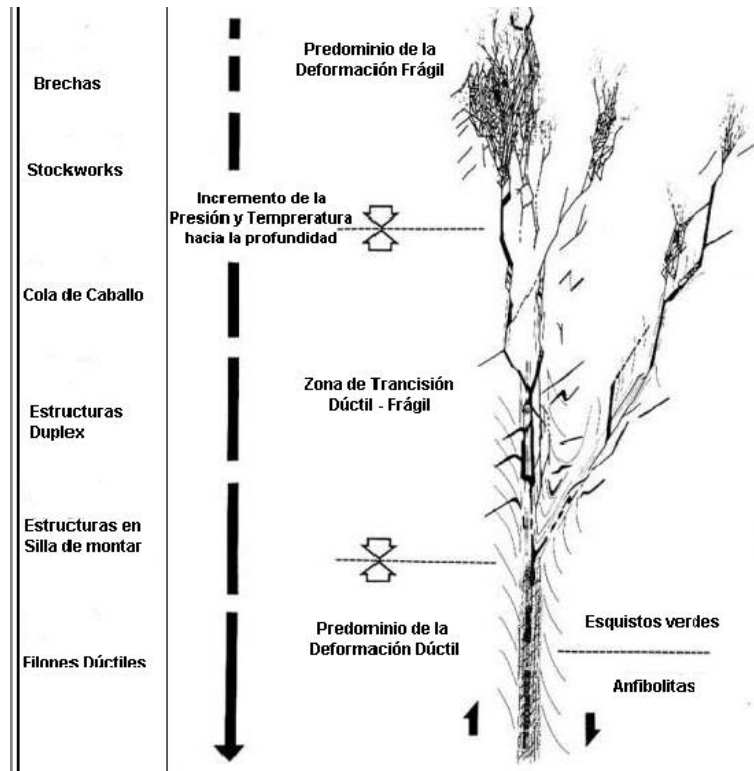


FIGURA 71. Modelo generalizado de los estilos estructurales de precipitación de metales en depósitos vetíticos de oro. Tomado de <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/>).

El sistema de fallas en extensión tipo dúplex (ver FIGURA 72) es propio de fallas de transpresión en sistemas transcurrentes marcadamente asociadas a sistemas de convergencia, donde es posible el desarrollo de estructuras comprimidas de tipo flor positiva (Rodríguez, 2007). El ambiente favorable para precipitación de la mineralización es en zonas de apertura en una falla de tipo sinestral (ver FIGURA 73).

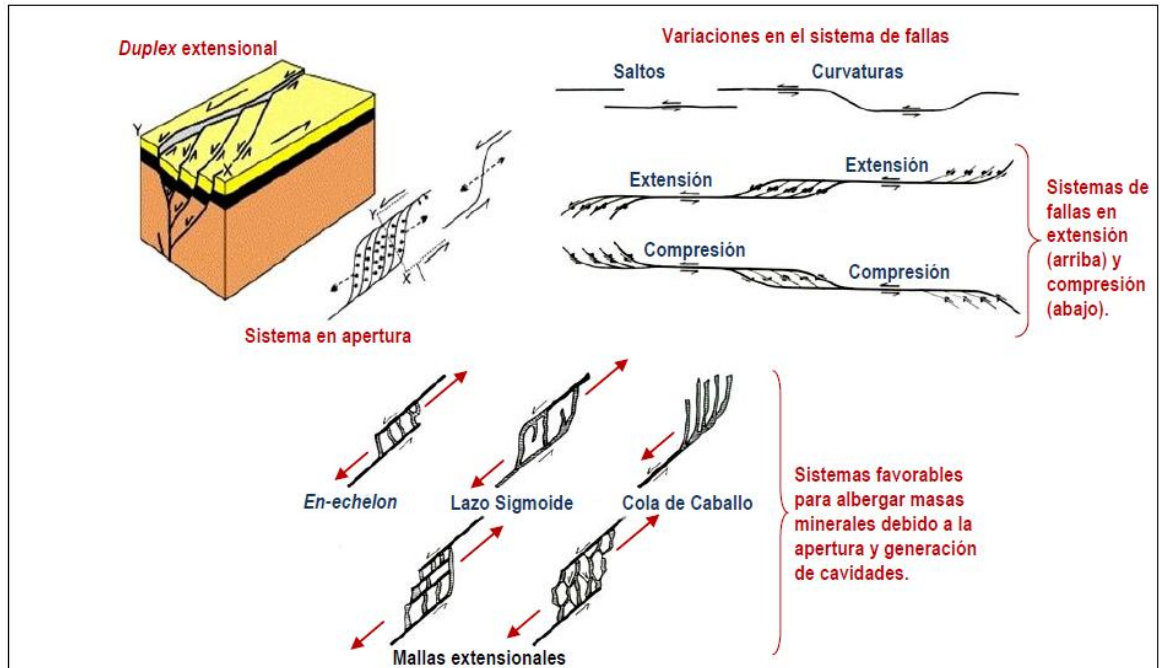


FIGURA 72. Sistemas de falla en extensión y compresión. Tomado de Oyarzun (2011).

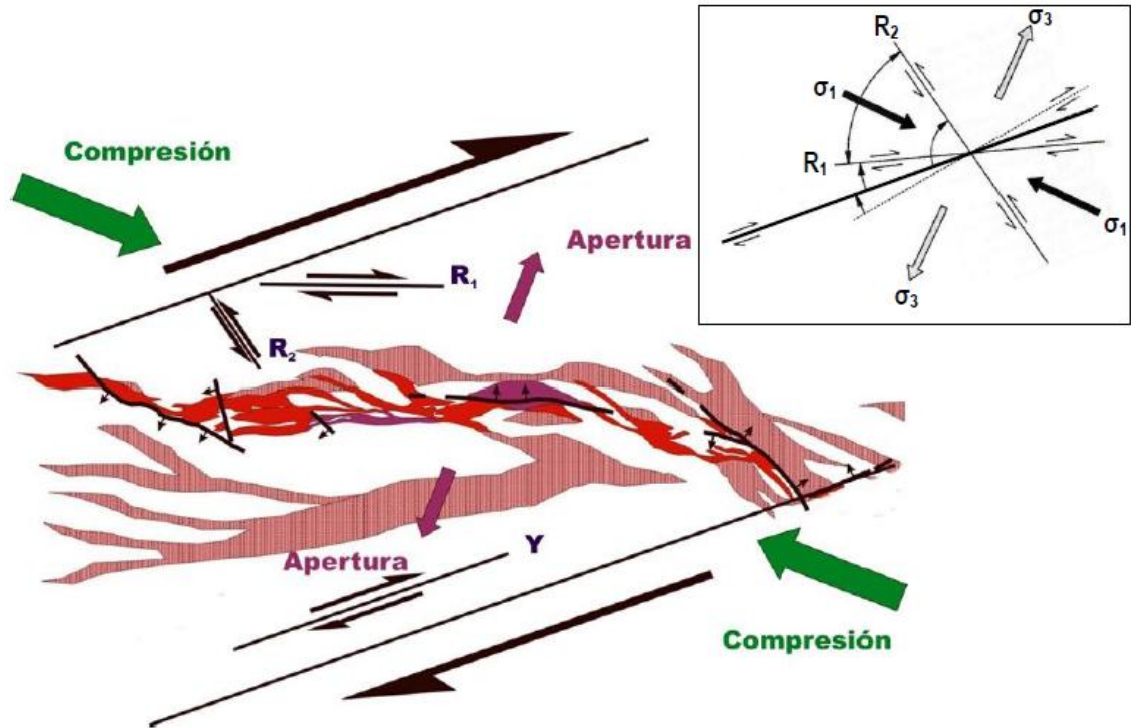


FIGURA 73. Formación de fracturas de Riedel (R₁ YR₂) para una falla sinistral. Tomado de Oyarzun (2011).

De la FIGURA 73, se observa que las direcciones de cizalla R1 y R2 son generadas por el esfuerzo de compresión σ_1 , el cual es el esfuerzo que induce el carácter sinistral de la falla. Al generarse apertura en el sistema, la mineralización encuentra un ambiente favorable o “cómodo” y precipita (posiblemente como los cuerpos rojos dibujados de la anterior figura) (Oyarzun, 2011).