



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# **Aplicación de metodología de exploración: estudio del prospecto El Muro, Minas de Corrales, Rivera, Uruguay**

Estudiante: Ramiro Rodríguez

Tutora: Dra. Manuela Morales Demarco

## Resumen

En el presente trabajo se aplicó una metodología de exploración de oro en el prospecto El Muro, ubicado en el Distrito Minero Minas de Corrales, Rivera, Uruguay. La investigación surgió como parte de una estrategia de la empresa concesionaria para aumentar sus reservas de manera rápida, buscando mineralización en las proximidades de minas preexistentes. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de antecedentes geológicos y mineros, lo cual permitió la creación de una base de datos y la identificación de zonas con anomalías geológicas. El mapeo de campo y la toma de muestras de afloramientos evidenciaron la presencia de mineralización, lo que permitió la elaboración de un modelo superficial de recurso inferido y la generación de un *target* de perforaciones.

Los resultados de las perforaciones confirmaron la mineralización en profundidad. A partir de la descripción de los sondeos, se determinó que la mineralización aurífera está asociada a contactos litológicos entre rocas félsicas y máficas, con una disposición subvertical. El estudio petrográfico reveló alteración hidrotermal, con venas de cuarzo y/o carbonato atravesando las rocas, así como minerales indicativos de alteración. También se observaron procesos de silicificación, sulfuración y oxidación, con presencia de oro en piritas afectadas por fuertes procesos de oxidación.

Se desarrolló un modelo tridimensional de la litología portadora de la mineralización principal. Este modelo mostró una estructura tabular, subvertical, con un ancho máximo de 10 m, una longitud de 200 m (orientada NO-SE y con leve buzamiento hacia el SE), y hasta 50 m de profundidad. Las actividades de exploración realizadas permitieron definir un recurso indicado, suficiente para que la empresa considere pruebas de minado.

## Contenido

Resumen .....	1
1. Introducción .....	3
1.1. Objetivos .....	5
1.1.1. Objetivo general .....	5
1.1.2. Objetivos específicos.....	6
1.2. Ubicación y vías de acceso .....	6
1.3. Metodología .....	6
2. Marco teórico.....	11
2.1. Conceptos en Geología Económica .....	11
2.2. Fases de exploración .....	12
2.2.1. Exploración de reconocimiento o generación de un target .....	15
2.2.2. Exploración de detalle o Target de perforación .....	19
2.2.3. Evaluación de Proyectos.....	20
2.3. Código JORC y Norma NI 43-101 .....	22
2.3.1. Aseguramiento y Control de la Calidad.....	23
3. Antecedentes .....	25
3.1. Antecedentes geológicos regionales .....	25
3.2. Geología local: Isla Cristalina de Rivera .....	27
3.3. Antecedentes Mineros – Trabajos exploratorios previos .....	31
4. Resultados.....	33
4.1. Estudios conceptuales – trabajo de gabinete .....	33
4.1.1. Fotointerpretación.....	34
4.1.2. Geofísica .....	35
4.1.3. Geoquímica .....	36
4.1.4. Interpretación de trabajos previos .....	38
4.2. Generación de target - Trabajo de campo .....	40
4.2.1. Mapeo Geológico .....	41
4.2.2. Estudio de orden de magnitud .....	51
4.3. Campaña de perforación .....	53
4.3.1. Técnica de muestreo .....	54
4.3.2. Resultados de perforaciones.....	56
4.3.3. Descripción litológica de rock chip .....	57
4.4. Evaluación y definición de recursos .....	59
4.4.1. Modelo 3D de la zona mineralizada .....	59
4.4.2. Prueba de Minado .....	64
4.4.3. Descripción litológica de las rocas de mena .....	66
5. Discusión .....	71
6. Conclusiones .....	77
7. Bibliografía.....	78

## 1. Introducción

El presente estudio constituye el Trabajo Final de Grado de la Licenciatura en Geología y se enfoca en una de las ramas fundamentales de la disciplina: la Geología Económica. Esta área de estudio abarca un conjunto de actividades cuyo objetivo es la identificación y evaluación de nuevos depósitos minerales (Pohl, 2011). Entre las principales herramientas empleadas en este proceso se encuentran los estudios geológicos, los métodos geofísicos y geoquímicos, así como el uso de trincheras y perforaciones. A medida que se desarrollan estas actividades, se obtiene nueva información geológica que permite avanzar en las distintas fases de una campaña de exploración. Este proceso comienza con la identificación de un prospecto, seguido de la comprobación de un cuerpo mineralizado, el reconocimiento de sus características y su posterior evaluación, con el fin de determinar la viabilidad para una explotación redituable del depósito (Marjoribanks, 2010).

El trabajo pretende aplicar una metodología detallada de exploración de oro en el prospecto denominado 'El Muro', ubicado en el departamento de Rivera, Uruguay (Figura 1). Este prospecto se encuentra dentro del área correspondiente a una Concesión de Explotación de la empresa minera Orosur, con la cual el autor estuvo vinculado laboralmente entre febrero de 2017 y febrero de 2018. Durante este período, se recopiló información de trabajo relevante que, con autorización previa, fueron utilizados en el desarrollo de este estudio. El prospecto está localizado en el Distrito Minero Minas de Corrales (Bossi et al., 2000), este aloja los principales yacimientos de Au-Ag de nuestro país. Las actividades de explotación comenzaron a mediados del siglo XIX por compañías francesas (Chirico, 2005). Un gran número de empresas trabajó en la zona, el primer registro corresponde a la Compañía de Minas de Oro de Cuñapirú en 1869. Otra empresa importante fue la Compañía Francesa de Minas de Oro del Uruguay, la cual construyó la planta motriz hidráulica en el Arroyo Cuñapirú y posteriormente montó un aerocarril de 12 kilómetros para llevar el mineral a dicha planta (Mac Millan, 1931). Este autor destaca la región Minas de Corrales como la más relevante, junto con las de Zapucay y Curtume, siendo la Mina San Gregorio la más productiva.

Desde un punto de vista geológico, el Distrito Minero Minas de Corrales está vinculado a la Zona de Cizalla San Gregorio, que presenta una dirección NO-SE y un buzamiento variable hacia el sur (Figueroa, 2014). Esta estructura ha favorecido la formación de cuerpos mineralizados, como los asociados a las minas Arenal, Veta Sur, San Gregorio, Ombú, Veta A, Polvorín y Santa Teresa, que se extienden de este a oeste (Figura 1c).

Estas minas han representado una parte significativa del stock mineral de la empresa durante años, destacando la importancia estratégica de la región para la industria minera.

En este contexto, las reservas minerales adquieren un carácter dinámico, tal como señala Oyarzún (2011). Las reservas disminuyen con la extracción continua de minerales o debido a cambios en la viabilidad económica de su explotación. Sin embargo, también pueden incrementarse mediante la incorporación de nuevos depósitos al stock o cuando surgen condiciones que permiten explotar zonas anteriormente descartadas. Frente a la necesidad de aumentar rápidamente el stock mineral, la empresa implementó una planificación estratégica enfocada en proyectos de exploración *brownfield*, los cuales buscan ampliar cuerpos mineralizados en minas existentes o identificar nuevos yacimientos dentro de áreas con permisos de explotación.

El prospecto "El Muro", ubicado entre las minas Polvorín y Santa Teresa (Figura 1), es un ejemplo de este enfoque estratégico. Aunque en el pasado se realizaron trabajos exploratorios previos, como muestreos de suelos, estudios de afloramientos, trincheras y perforaciones, los resultados iniciales no fueron considerados suficientes para avanzar debido a factores como tonelaje, leyes de mineral y precio del oro. Sin embargo, cambios en estas variables motivaron la reactivación de las actividades exploratorias con el objetivo de definir un depósito explotable. Este trabajo final detalla las actividades realizadas, los resultados obtenidos y su relevancia para la evaluación del potencial geológico del área.

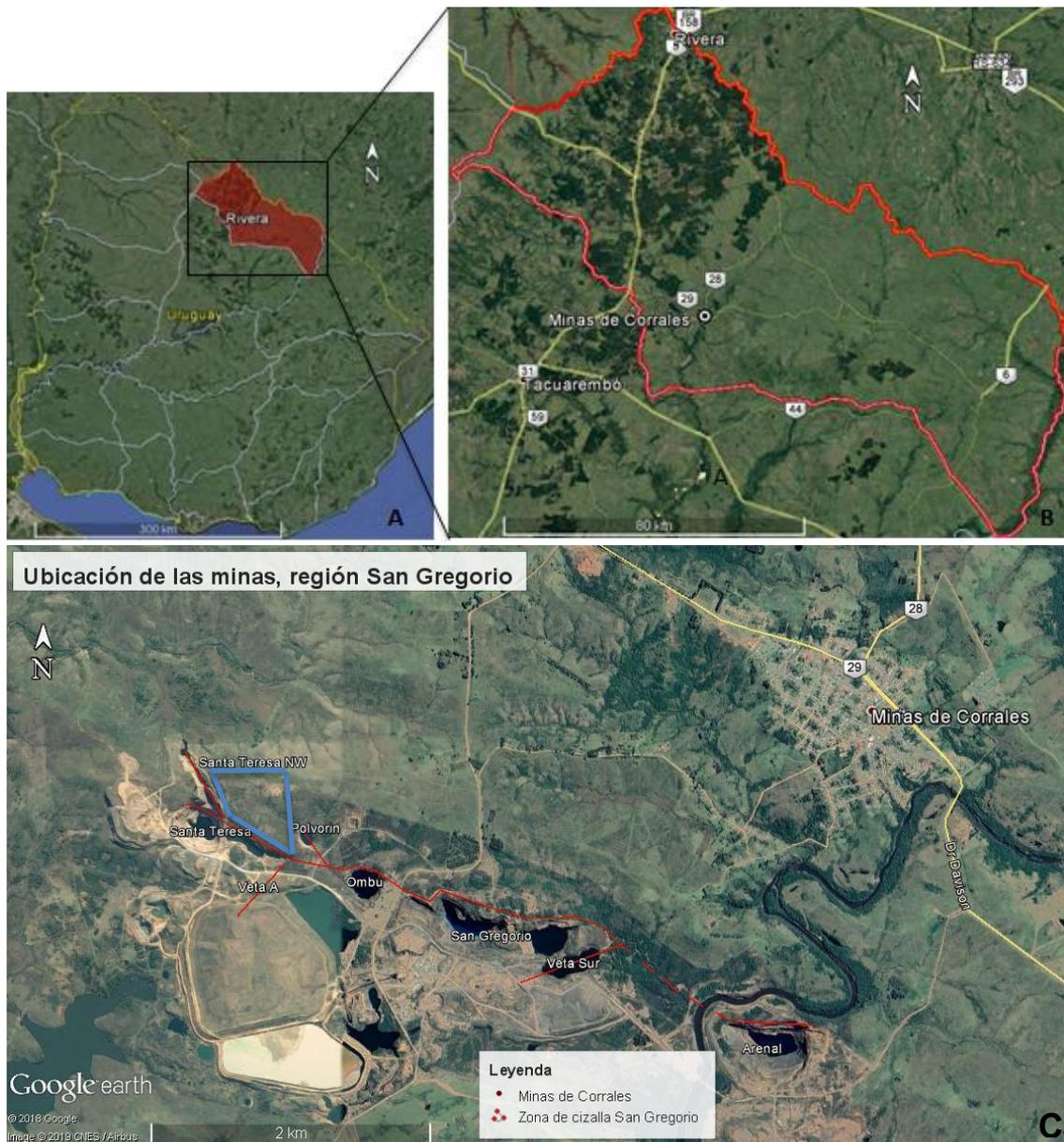


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. A) Delimitación del departamento de Rivera en Uruguay, B) Ubicación de Minas de Corrales dentro del departamento de Rivera. C) Distrito minero Minas de Corrales donde se aprecia la zona de actividad minera y centro poblado. El cuadrante azul marca el área del prospecto el Muro y en rojo se interpreta la Cizalla San Gregorio (modificado de Figueroa, 2014).

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo general

- Aplicar una metodología de exploración en el prospecto El Muro, Minas de Corrales, Uruguay

### **1.1.2. Objetivos específicos**

1. Realizar una revisión bibliográfica, especialmente de antecedentes geológico-mineros
2. Interpretar datos exploratorios existentes en el área de estudio
3. Realizar un mapa geológico de detalle
4. Generar un target de perforaciones
5. Establecer un modelo geológico basado en los datos generados y recolectados en las etapas anteriores

## **1.2. Ubicación y vías de acceso**

El prospecto El Muro se localiza en el Complejo Minero San Gregorio, en el departamento de Rivera, Uruguay. Se encuentra en la porción noreste de la carta topográfica H11, Minas de Corrales, 1:50.000 (1985) del Servicio Geográfico Militar (figura 2). Está ubicado aproximadamente 100 kilómetros al sur de la capital departamental y a 3,5 kilómetros al sur de la localidad de Minas de Corrales.

Se accede por la Ruta Nacional Número 5, Km 427 Paraje Manuel Díaz, donde se toma la ruta Nacional N° 29, recorriendo aproximadamente 25 km hasta la localidad de Minas de Corrales, se toma el camino vecinal hacia el sur (figura 2), recorriendo aproximadamente 3,5 km hasta llegar al predio de la Minera San Gregorio.

## **1.3. Metodología**

Para cumplir con los objetivos establecidos en este trabajo, se siguió una metodología que presenta una serie de actividades, las cuales son descritas a continuación:

- Revisión bibliográfica general

En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica de libros, artículos que definen y describen las diferentes metodologías de exploración, permitiendo utilizar la terminología adecuada y conocer las diferentes actividades propuestas por cada autor.

Esto permitió la elección de la metodología más apropiada a aplicar, teniendo en cuenta las características del área de estudio y los objetivos planteados.

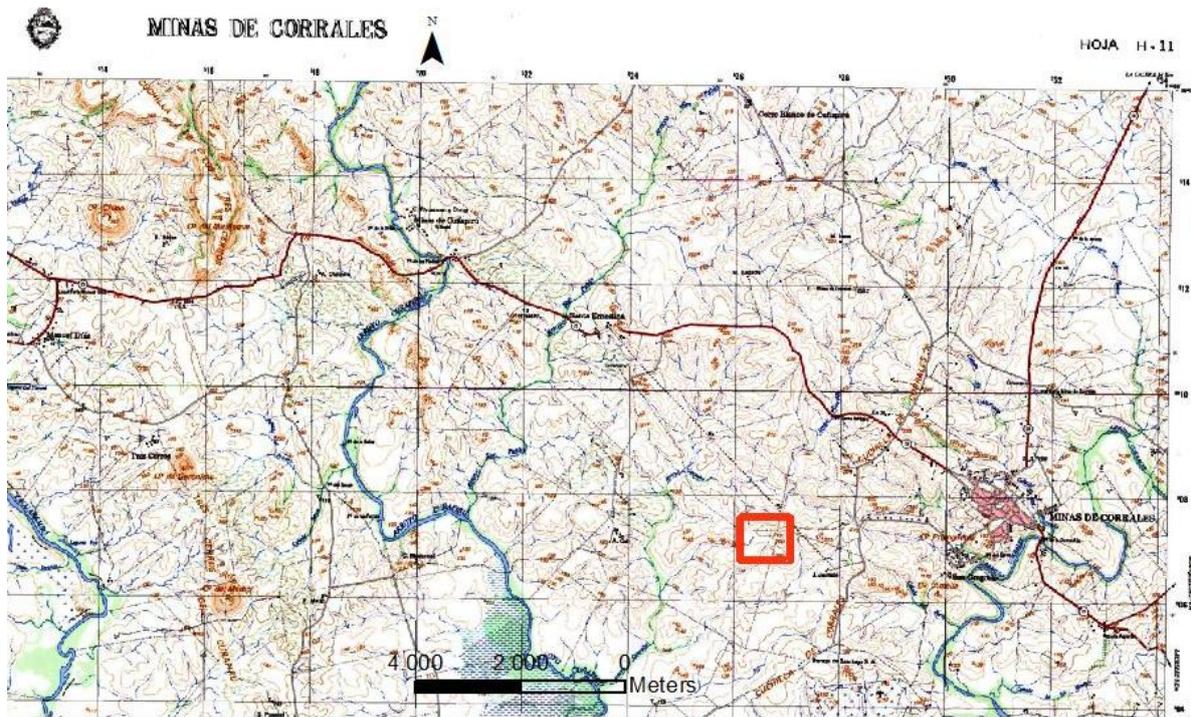


Figura 2. Porción NE de la carta topográfica H11, Minas de Corrales, del Servicio Geográfica Militar. El cuadro rojo marca la ubicación del prospecto El Muro.

- Revisión de antecedentes geológico-mineros

Se realizó una revisión de antecedentes geológicos-mineros utilizando material público (publicaciones, tesis) y privado, perteneciente a la minera Orosur, realizado por diferentes geólogos que a lo largo de los años han trabajado en la zona. Incluye material cartográfico del área de estudio, desde escala regional hasta local, interpretaciones estructurales, características y génesis de la mineralización.

Adicionalmente, se hizo una revisión en la base de datos de la empresa, en busca de todos los trabajos exploratorios existentes para la zona. Se encontraron datos de muestras de afloramiento, suelos, trincheras y perforaciones. También se pudo obtener datos geofísicos, que corresponden a una campaña regional aerotransportada realizada por la empresa, la cual incluye magnetometría y radiometría de K, Th y U.

- Generación de una base de datos digital en el software Micromine

El programa Micromine era el utilizado por el Departamento de Geología de la empresa. Corresponde a un software minero de gran utilidad para los geólogos, ya que presenta muchas herramientas que permiten el trabajo en todo el ciclo minero, desde la

exploración geológica y la gestión de datos, hasta la estimación de recursos, el diseño de minas, la planificación y el control de la producción (<https://www.micromine.com>).

Se creó un proyecto específico para el prospecto El Muro, en el cual se realizó un control de calidad de los datos para luego ser importados a la base de datos de dicho proyecto. De la revisión de antecedentes surgieron datos que no estaban georreferenciados, como por ejemplo: mapas geológicos, descripción de muestras de afloramientos, sondeos y trincheras. Estos fueron georreferenciados con sus respectivas coordenadas para ser visualizados correctamente en el área de estudio, lo cual facilitó su posterior interpretación y planificación de nuevos trabajos exploratorios.

- Fotointerpretación

Se realizó fotointerpretación estereoscópica, en la cual se interpretaron los principales lineamientos de la zona. Se basaron principalmente en características topográficas, patrones de drenaje, colores y texturas de rocas, suelos, vegetación y rasgos estructurales. Al mismo tiempo sirvió para familiarizarse con la topografía, rutas de acceso, etc., que faciliten la planificación de la logística para llevar a cabo el programa de exploración. Esto permitió la realización de un mapa base, marcando zonas de interés para ser relevadas en el campo.

- Mapeo geológico

Se realizó un mapa geológico de detalle. El área cuenta con escasos afloramientos, lo que generó dificultad para la realización del mismo. Por tal motivo, se utilizaron descripciones litológicas de trincheras y pozos que se encontraron en la base de datos. También se utilizaron las observaciones realizadas en paredes de las minas adyacentes, lo que permitió tomar medidas de rumbo y buzamiento, facilitando el reconocimiento e interpretación de las unidades presentes en la zona. Se decidió utilizar la nomenclatura que utiliza el Departamento de Geología de la empresa, con el fin de unificar las litologías que aparecen en los trabajos previos y facilitar la interpretación geológica. Así mismo se realizaron muestreos de rocas para análisis petrográfico, lo que permitió identificar con mayor detalle las unidades representadas en el mapa geológico.

- Métodos geofísicos y geoquímicos

Con respecto a los métodos geofísicos, se decidió trabajar con la información disponible en la empresa, la cual incluye mapas regionales de radiometría y magnetometría, descartando hacer nuevas campañas locales, principalmente por su elevado costo y el tiempo requerido. Estos datos fueron interpretados para marcar posibles anomalías y ser comparados con los diferentes trabajos exploratorios previos realizados en la zona.

Respecto a los métodos geoquímicos, se observaron que los trabajos exploratorios previos no cubrían toda la zona de estudio. Por tal motivo, se realizaron nuevos muestreos de roca en afloramientos, en las zonas consideradas de mayor interés. Posteriormente se realizó el análisis de calidad de los datos y georreferenciación.

- Perforaciones

Luego de las interpretaciones de los resultados obtenidos en los trabajos previos, se realizó una campaña de perforaciones exploratorias. En primera instancia se generó un modelo de la posible zona mineralizada, se planificó la estrategia y el método.

Se determinó utilizar una perforadora RC (por su sigla en inglés, *reverse circulation*, circulación inversa), principalmente por su menor costo, mayor velocidad y por la etapa de la campaña de exploración, en donde lo que se busca es confirmar la posible mineralización, sin requerir tanta información geológica como lo sería una etapa de evaluación de depósito. El sistema de perforación RC permite la recuperación de *cutting* por inyección de aire o agua a través de un sistema de doble pared, que evita los problemas de contaminación del método estándar. Son de gran velocidad y menos costosos que el método de diamantina (Oyarzun 2011).

Adicionalmente se planificó y realizó la técnica de muestreo para ser enviada a laboratorio y efectuar la descripción litológica.

- Modelamiento de unidades geológicas

Un modelo “es una hipótesis de trabajo o una simulación de un proceso o fenómeno, basado en datos descriptivos, estadísticos o en métodos analógicos” (Bustillo & López, 2000). Permite visualizar y validar un blanco a través de diferentes parámetros como lo pueden ser geológicos, geofísicos y geoquímicos. Estos parámetros al ser relacionados en superficie pueden generar modelos en dos dimensiones, pero cuando se le agregan datos de perforaciones es posible generar modelos en tres dimensiones (Oyarzun 2011).

Se realizó el modelamiento de unidades geológicas en base a perfiles de pozos, utilizando datos de tenor de oro, litología y principales alteraciones. Para esto fue necesaria la descripción de muestras de perforación e interpretación de los datos obtenidos del laboratorio.

- Estudio petrográfico

Para la realización del estudio petrográfico, se tomaron cuatro muestras de roca, con lo cual se confeccionaron láminas delgadas para la observación de los minerales translúcidos en luz transmitida, y probetas para la visualización de los minerales opacos en luz reflejada. Dos de las muestras se tomaron durante el mapeo geológico y corresponden a las litologías más representativas del área. Las otras dos muestras corresponden a la zona asociada a la mineralización aurífera, representada en el modelo geológico. Este estudio se consideró necesario para aportar elementos que permitan interpretar y caracterizar la mineralización del yacimiento.

- Interpretación de la génesis del depósito.

Luego de toda la información recabada y el modelo de la zona mineralizada se realizó una interpretación de la génesis del recurso. Esta se basó en los resultados obtenidos en las perforaciones, la morfología del modelo obtenido, la relación estructural con las minas existentes en la zona y el estudio petrográfico de las muestras recolectadas.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Conceptos en Geología Económica

La “Geología Económica es una subdisciplina de las geociencias, que estudia la fuente de materias primas minerales de la Tierra para la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos” (Pohl, 2011). Este autor considera que la Geología Económica realiza la búsqueda de nuevos depósitos minerales y su investigación detallada, además contribuye a evaluaciones técnicas y económicas que confirman la viabilidad de un proyecto. Un “depósito o yacimiento es una ocurrencia mineral de tamaño y grado suficiente, que puede, bajo circunstancias favorables, ser considerado con potencial económico” (USBM, 1996).

La búsqueda de nuevos depósitos minerales relevando afloramientos o exposiciones superficiales se conoce como prospección (Marjoribanks, 2010). Según este autor, en la etapa de exploración, la búsqueda implica la comprobación del cuerpo mineralizado, reconocimiento de características y evaluación; para lo cual se pueden emplear los siguientes métodos: estudios geológicos, geofísicos, geoquímicos, trincheras o calicatas y perforaciones. Las actividades de exploración en campo tienen lugar como parte de una estrategia (play) para localizar y definir un yacimiento económicamente explotable en una provincia minera. Si el play es muy grande se puede dividir en proyectos individuales, generalmente conformado por un grupo de pedimentos y cada proyecto puede tener uno o más prospectos. Los prospectos se pueden definir en base a: mineralización reconocida en afloramientos, antiguas labores mineras, interpretación geológica, anomalías registradas por campañas geoquímicas y geofísicas anteriores (Marjoribanks, 2010).

Es importante distinguir entre dos tipos principales de proyectos de exploración minera: *brownfield* y *greenfield*. La diferencia entre ambos radica en el grado de conocimiento previo sobre una región y la existencia de actividades mineras anteriores. Los proyectos *brownfield* se desarrollan en áreas cercanas a yacimientos preexistentes, donde se dispone de información previa sobre la geología y el potencial mineral de la zona. Por el contrario, los proyectos *greenfield* se realizan en regiones completamente nuevas o con escaso conocimiento geológico previo (Oyarzún, 2011).

## 2.2. Fases de exploración

Las fases de exploración refieren a un conjunto de pasos ordenados a seguir dentro de una campaña de exploración, donde a medida que se avanza, se incrementa el conocimiento sobre el depósito (Moon et al., 2006; Marjoribanks, 2010; Pohl, 2011). Existen algunas diferencias por parte de los autores en cómo nombrarlas y en los parámetros que relacionan, pero gran similitud en el contenido de las actividades a realizar en cada una de ellas.

Lo primero, antes de definir las actividades a realizar, es determinar un modelo de exploración (Oyarzún 2011). Para esto se requiere de un conocimiento geológico de la región, en particular del tipo de depósito que se quiere localizar. Estos modelos describen los atributos característicos de un determinado depósito, relacionándolo o no con su génesis. Esto permitirá planificar las actividades de exploración, permitiendo establecer las “guías de exploración”, que incluyen: guías morfológicas, litológicas, estructurales y mineralógicas.

En cuanto a las guías morfológicas, Evans (1993), hace referencia a la forma o geometría de los depósitos, y plantea que estos pueden ser discordantes o concordantes, que a su vez los discordantes pueden ser regulares e irregulares. Asimismo, dentro de las regulares se pueden diferenciar las morfologías tabulares y tubulares, por ejemplo, un depósito discordante regular y tabular serían los vetiformes, en cambio un depósito discordante regular y tubular sería una “chimeneas o pipe”, por ejemplo, una diatrema de kimberlita. En cuanto a los depósitos discordantes irregulares no se asemejan a una forma geométrica determinada, por ejemplo, los de tipo skarn. Por último, los concordantes, que son aquellos en los cual la mineralización se acomoda concordantemente, por ejemplo, con capas de rocas sedimentarias o volcánicas. Este autor también hace referencia a que la morfología nos da información de la génesis de los depósitos, introduciendo los términos de singenéticos y epigenéticos. Los primeros son formados al mismo tiempo que la roca huésped, por lo tanto, forman parte de la estratigrafía y son concordantes, en cambio los epigenéticos son formados por diferentes procesos posteriormente a la roca huésped y, por lo tanto, son discordantes.

En cuanto a las guías litológicas Oyarzún (2011) plantea que el marco litológico y petrológico puede determinar los tipos de depósitos que aparecen en la región, ya que estos se asocian a determinadas litologías y series magmáticas. Por ejemplo, las rocas

ultramáficas, como las peridotitas están muy asociadas con yacimientos de cromo y platinoides.

Las guías estructurales y mineralógicas en ocasiones tienen una gran relación. Según Oyarzún (2011), desde el punto de vista de la mineralización, las fallas y zonas de fallas con sectores en extensión presentan el máximo interés. La razón radica en que en aquellas zonas se encuentran en apertura, lo cual tiene dos consecuencias principales, permite una circulación más fácil de fluidos hidrotermales y si se da una precipitación de la carga mineral, la masa mineral será mayor dado el carácter en expansión que presenta. Estos fluidos hidrotermales generan una alteración en la roca, provocados por cambios de color, texturales o incluso recristalización de los minerales, los cuales son más intensos en las proximidades del depósito, generando un halo alrededor de este (Taylor, 2009; Evans, 1993). Un ejemplo de aplicación en exploración es la zonación que se genera en los depósitos de tipo pórfidos cupríferos, en los cuales se da un núcleo de alteración potásica, que gradúa hacia una alteración filica y periféricamente facies argílicas y propílicas (Oyarzún 2011).

Las diferentes fases de una campaña de exploración, junto con sus respectivas actividades, pueden ser representadas gráficamente en términos de gastos y riesgos. Moon et al. (2006) representa en un cuadro (Figura 3) cómo el gasto tiende a incrementarse a medida que se avanza con las actividades, mientras que el riesgo disminuye progresivamente. Además, identifica nodos clave de decisión, en los cuales, con base en la evaluación de los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se debe determinar si continuar o no con la exploración, considerando los riesgos y costos asociados. Por su parte, las fases de una campaña de exploración suelen estar diseñadas para ajustarse a un presupuesto asignado y un cronograma previamente definido. Este enfoque permite realizar las actividades de manera eficiente, maximizando los recursos disponibles y minimizando posibles desviaciones en tiempo y costos (Haldar, 2013).

Asimismo, Marjoribanks (2010) detalla un conjunto de fases que incluyen actividades específicas evaluadas de manera progresiva, avanzando únicamente si los resultados son favorables. Estas fases, representadas en la Figura 4, abarcan desde la generación de un target hasta el minado. Los pasos intermedios incluyen la definición del target de perforación, la evaluación y definición de reservas, así como la realización de estudios de factibilidad.

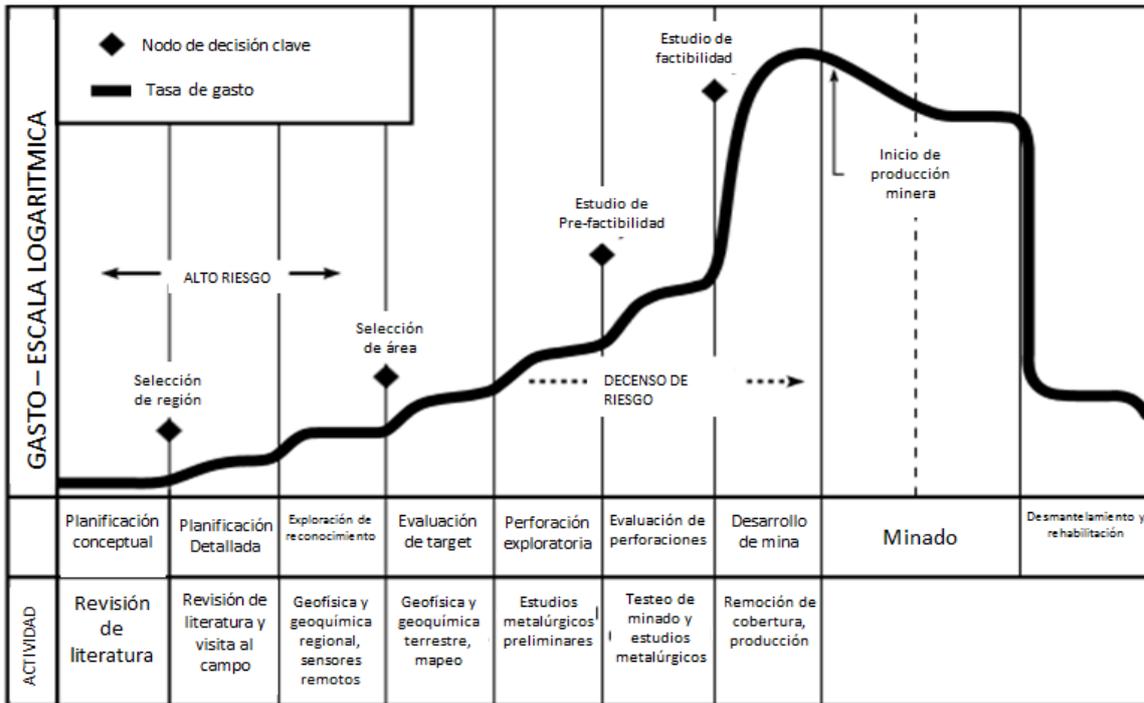


Figura 3. Cuadro comparativo de las fases de exploración con respecto al gasto, modificado de Moon et al. (2006).

Existen diferencias en el inicio de los proyectos de exploración, las cuales se representan mediante las curvas A, B y C en la Figura 4, que reflejan variaciones en el número de prospectos según la metodología empleada al comienzo del proceso. En el caso de la curva A, se emplean métodos empíricos de exploración, como las anomalías detectadas en campañas geoquímicas y geofísicas regionales. Estas campañas pueden generar un elevado número de anomalías en una región, lo que da lugar a una gran cantidad de prospectos iniciales. Los programas de exploración basados en ideas conceptuales siguen la evolución planteada por la curva C, partiendo del conocimiento de la mineralización, geología y proceso de formación del depósito. Esto genera un número menor de prospectos, pero de mayor calidad. Cabe resaltar que para aplicar ideas conceptuales se debe contar con estudios previos en la zona, que generaron el conocimiento geológico de la región. El autor afirma que en la práctica los programas de exploración combinan métodos empíricos con ideas conceptuales, lo que representa la curva B de la figura.

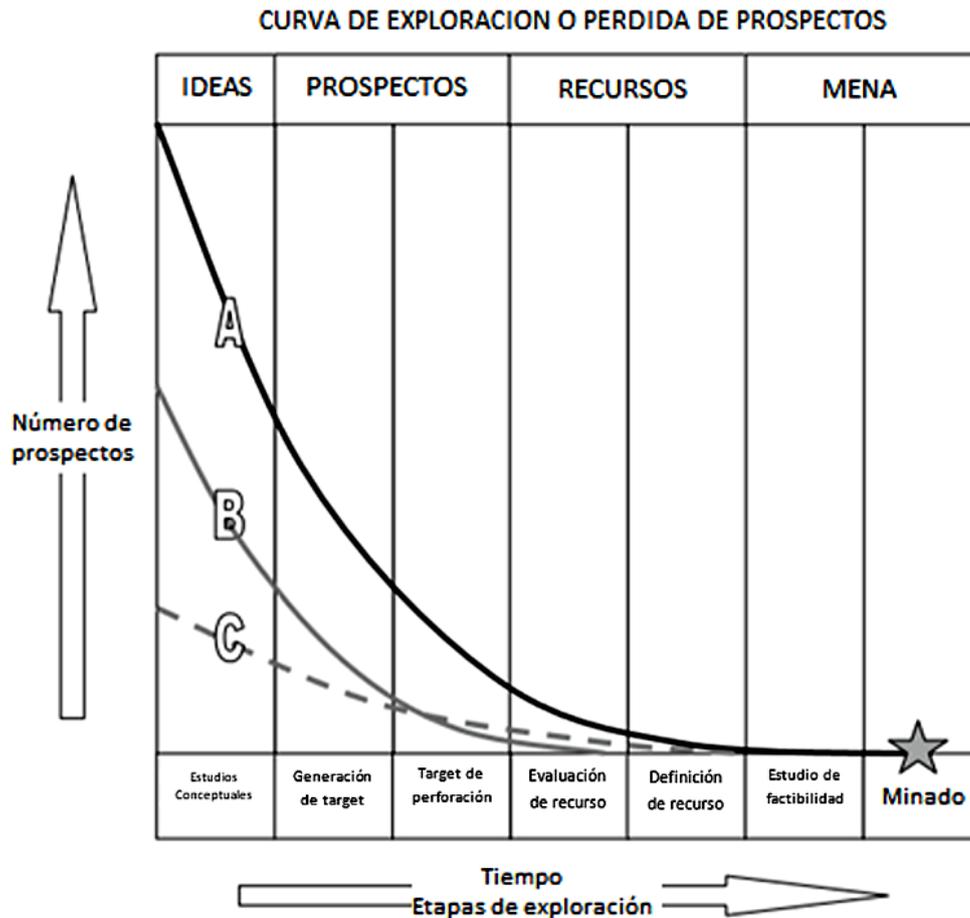


Figura 4. Curva que muestra la metodología de exploración con sus respectivas fases (modificado de Marjoribanks, 2010).

### 2.2.1. Exploración de reconocimiento o generación de un target

Esta fase comprende la búsqueda geológica de grandes áreas para evaluar su potencial minero global, definir objetivos para un seguimiento detallado y rechazar zonas de poco interés minero (Bustillo & López, 2000). Esta fase es mencionada con diferentes nombres por los distintos autores (Moon 2006; Bustillo & López, 2000; Marjoribanks 2010; Oyarzún 2011), sin embargo las actividades involucradas son las mismas y se describen a continuación.

- Revisión de toda la información disponible para el prospecto, puede incluir mapas geológicos, campañas geofísicas, resultados de campañas de exploraciones previas, etc.
- Interpretación geológica preliminar, utilizando fotos aéreas e imágenes satelitales.

- Mapeo geológico regional y detallado.
- Campañas geofísicas.
- Campañas geoquímicas.
- Perforaciones exploratorias para incrementar el conocimiento geológico.

### ***Campañas geofísicas***

Los métodos de exploración geofísicos miden propiedades físicas de las rocas. Estas pueden ser realizadas con equipos aerotransportados, en la superficie o en perfiles de pozos (Moon et al., 2006). Generalmente se utilizan con dos finalidades: definir la geología regional y localizar recursos. Para definir la geología regional generalmente se utilizan campañas regionales aerotransportadas y es necesario complementarlo con otros métodos de exploración. En el caso de la localización de recursos tiene por objetivo medir características inusuales o atípicas de rocas que reflejan y tienen relaciones espaciales cercanas a mineralizaciones económicas.

Dentro de los métodos de exploración geofísicos tenemos: Magnéticos, Eléctricos, Electromagnéticos, Radiométricos, Gravimétricos y Sísmicos. En este trabajo solo se van a describir los métodos que fueron utilizados por estar presente en el área de estudio: magnéticos y gravimétricos.

- Magnéticos

Se basan en la medida de la intensidad del campo magnético terrestre. Las desviaciones locales en dicho campo se producen por la presencia de minerales y rocas que son magnéticas, o en los que el magnetismo es inducido por el campo magnético terrestre (Bustillo & López, 2000). Los más importantes de estos minerales son la magnetita, ilmenita, hematita y pirrotina.

Aplicando el método magnético en la prospección minera se quiere delinear variaciones del campo geomagnético, es decir, anomalías magnéticas relacionadas con un depósito mineral con un cierto contenido en magnetita, pirrotina o sulfuros (Ortega, 2017).

- Radiométricos

Las concentraciones de radioelementos son medidas de abundancia de elementos radioactivos en las rocas. La desintegración de los isótopos radiactivos del uranio, torio y potasio contenidos en las rocas genera radiación electromagnética, llamada radiación gamma, la cual se mide con espectrómetros (Bustillo & López, 2000). Esa abundancia original puede ser modificada por procesos posteriores de metamorfismo, hidrotermalismo, intemperismo, etc. Un gran número de depósitos minerales está asociado a procesos hidrotermales. En estos procesos las soluciones son enriquecidas en elementos como  $K^+$ , acompañadas por un empobrecimiento parcial de Th. Sin embargo en áreas afectadas por procesos de oxidación el Th puede ser fuertemente concentrado en comparación con el  $K^+$  (Perez de Quadros, 2000).

Los resultados obtenidos son mapas con las concentraciones de cuentas totales, porcentaje de potasio y ppm de uranio; además, el análisis de los datos permitirá generar un mapa litológico de horizontes geológicos en superficie, que al complementar con la información magnética, se podrá caracterizar estructuras geológicas, ayudando a identificar patrones o trend estructurales (Ortega, 2017).

### *Campañas geoquímicas*

Las campañas de exploración geoquímica usan la química del ambiente que rodea un depósito para localizarlo. El objetivo es determinar una anomalía geoquímica, que se distinga de los valores de fondo (Moon et al., 2006). Dentro de una campaña de exploración geoquímica tenemos algunas etapas a seguir como lo son: planificación, muestreo, interpretación y seguimiento.

En la planificación es necesario tener en cuenta las características de la mineralización que se pretende localizar para luego llevar a cabo el muestreo. En el presente trabajo, como se trata de un elemento metálico, los tipos de muestreo que dan mejores resultados y más utilizados son: muestreo de sedimentos de corriente y suelos.

- Muestreo de sedimentos de corriente

Es una técnica muy utilizada en áreas de meteorización activa, consiste en tomar muestras representativas en las zonas de captación de las corrientes. Es una técnica relativamente rápida y barata, la interpretación de los datos consiste en comparar las concentraciones de los elementos en los puntos de muestreo, delimitando áreas de interés (Moon et al., 2006).

- Muestreo de suelos

Generalmente se utilizan mallas regulares de muestreo y el espaciado de estas va a estar dado por el detalle requerido en la campaña. El método de muestreo depende de la naturaleza de la cobertura, si la química del suelo refleja las condiciones de la roca madre en profundidad se muestrea superficialmente, generalmente el horizonte B de suelo, donde se produce un aumento en la concentración de elementos traza debido al movimiento descendente de arcillas, materia orgánica y óxidos de hierro (Oyarzún et al., 2011).

### ***Conceptos estadísticos en muestreo geoquímico***

Para las etapas de interpretación y seguimiento es necesario definir algunos conceptos que se utilizan para realizar cálculos estadísticos, necesarios para el tratamiento de los datos obtenidos en el muestreo.

#### ***Anomalías geoquímicas***

La anomalía geoquímica es una desviación con respecto a lo normal, es decir, que el mayor contenido de un elemento se comparará con las zonas circundantes. Estadísticamente, la anomalía relaciona los parámetros estadísticos de posición con los parámetros de dispersión. A partir de esta relación, se diferencian los fondos en términos de un valor numérico de un elemento químico, de los valores anómalos (Ortega, 2017).

#### ***Comportamiento estadístico y anomalías geoquímicas***

La estadística básica determina el valor de fondo (“background”), las limitaciones de fluctuación local y regional (“thresholds”), y el valor por encima del cual, una concentración geoquímica puede considerarse anómala (anomalía) (Sieguel, 1992).

#### ***Valor de Fondo o “Background”***

Su determinación se realiza por evaluaciones estadísticas, y comparaciones con los valores referenciales calculados para diferentes tipos de materiales naturales en la Tierra. Este contenido es sometido a variaciones de acuerdo al tipo de roca u otro material en el que ocurre el elemento, por ello se considera como un valor medio (medidas de tendencia central, media aritmética, media geométrica), y no como un valor ponderado. En la investigación y prospección de proyectos mineros, los elementos traza

se deberán calcular por medio de la media geométrica, pues este parámetro reprime los valores altos o bajos erráticos, permitiendo una menor desviación estándar (Rivera, 2010).

### *Umbral geoquímico o Threshold*

Estadísticamente es el límite superior de las fluctuaciones del “background” y es función de la concentración normal más dos veces la cantidad por la que se desvían los valores de fondo (Rivera, 2010). El valor de umbral coincide con el límite superior de los valores del fondo, puesto que los valores mayores serían anomalías y estaría representado por la siguiente fórmula:  $Th = X + 2S$  (Desviación estándar).

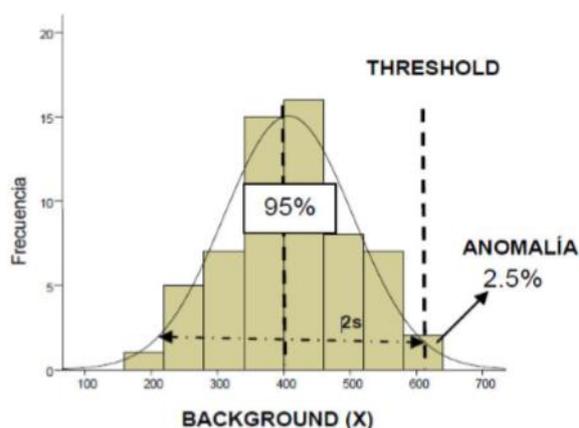


Figura 5. Gráfico mostrando umbrales (thresholds) y anomalía, (Ortega, 2017).

### **2.2.2. Exploración de detalle o Target de perforación**

Esta fase tiene como objetivo obtener una evaluación exhaustiva del potencial obtenido en la fase de reconocimiento. Esto implica restringir el área, seleccionando las de mayor potencial para incrementar las actividades descritas anteriormente, pero con mayor detalle. Se finaliza con la obtención de valores de geometría, leyes y tonelaje del depósito, que permitan tener una base para un estudio de viabilidad (Bustillo & López, 2000). Esta etapa también se conoce como “*target de perforación*” (Marjoribanks, 2010), la cual tiene como objetivo lograr una intersección con el mineral en profundidad, para definir el potencial del depósito. La perforación es una de las fases de exploración más importantes y puede ser la más costosa de todas. En casi todos los casos, es la que localiza y define mineralización económica, y proporciona la última prueba para todas las ideas, teorías y predicciones que se generan en las fases anteriores de exploración (Marjoribanks, 2010). Existen diferentes técnicas de perforación, y la elección de la

técnica depende de factores como: velocidad, costo, consideraciones logísticas, calidad y cantidad de muestra requerida (Bustillo y López, 2000).

### 2.2.3. Evaluación de Proyectos

Como se mencionó previamente, existen puntos clave en los que se deben tomar decisiones cruciales, basadas en los estudios que evalúan los resultados obtenidos en las distintas fases de exploración (Moon et al., 2006). Esto puede implicar que el proyecto sea descartado por resultados negativos, que los datos sean insuficientes y requiera de más trabajos, o que los resultados sean positivos y permita avanzar hacia la siguiente fase. Estos estudios (figura 6) son: conceptuales, de orden de magnitud, pre-factibilidad, factibilidad e ingenieriles detallados, y se describen a continuación.

- Los estudios conceptuales establecen la probable presencia de un recurso, comprende el primer paso para definir un recurso inferido y se realizan luego de la fase de exploración de reconocimiento. Por esto puede realizarse solamente mediante trabajo de gabinete, en donde se evalúa la información recabada de la revisión, por ejemplo publicaciones, reportes de proyectos con similares características, de los cuales se puede estimar parámetros como: tenor, forma, tamaño y métodos de procesamiento. Se buscará lograr suficientes indicios de tonelaje y grado para alentar trabajos adicionales. También es importante identificar problemas potenciales, como restricciones de acceso topográficas o de permisos mineros, además de los medioambientales y sociales. Se pueden hacer estimaciones de costos, calculadas a partir de factores empíricos y comparándolas con operaciones similares.
- Los estudios de orden de magnitud comienzan con un costo relativamente bajo, pero esto se va incrementando a lo largo del tiempo. Estos se basan en la evaluación de un conjunto limitado de datos de perforaciones y otros tipos de muestreos, para determinar si el proyecto es viable y justifica la inversión para avanzar a la próxima etapa. De los resultados se debe inferir una cantidad suficiente de recursos para garantizar futuros trabajos. Esto incluye un tonelaje suficiente con una ley superior al valor de corte (cut-off), que les permita a los ingenieros estimar la tasa de producción y las opciones de minado. Marjoribanks (2010) lo denomina evaluación de recursos, y plantea que esta etapa proporciona respuestas a preguntas económicas relacionadas con el grado, las

toneladas y las características mineras / metalúrgicas del cuerpo mineral potencial. En esta etapa es necesario realizar una campaña de perforación realizando un muestreo detallado, generalmente se hacen con perforadoras de diamantina que brindan mayor información geológica (Marjoribanks 2010). Asimismo, es necesario realizar un modelo geológico de la zona mineralizada, con todos los datos obtenidos en las etapas anteriores, principalmente las perforaciones.

- El estudio de factibilidad es la etapa final en el proceso, implica un estudio de detalle que evalúa todos los factores geológicos, mineros, ambientales, políticos, económicos, que van a ser relevantes para tomar la decisión si se llega a la fase de minado. En ocasiones se lleva a cabo un estudio de factibilidad preliminar durante la etapa anterior de evaluación de recursos. El estudio de factibilidad preliminar identificará si los costos involucrados en la exploración son apropiados para los rendimientos que se pueden esperar, así como también identificará la naturaleza de los datos que se deben adquirir para llevar el proyecto a la etapa final de factibilidad (Marjoribanks 2010).

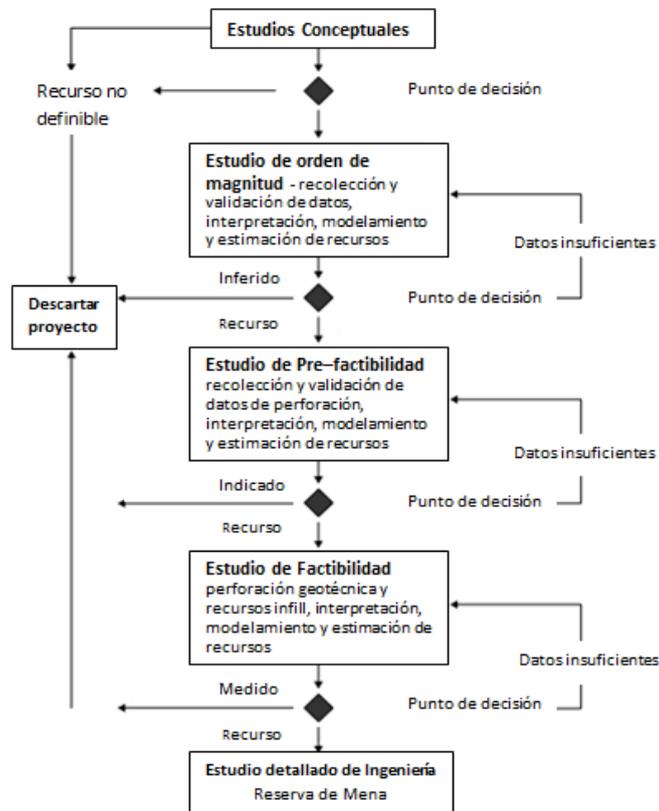


Figura 6. Muestra la distribución de los estudios para evaluación de proyectos, modificado de Moon, (2006).

### 2.3. Código JORC y Norma NI 43-101

Los informes elaborados bajo el Código JORC (Comité Conjunto de Reservas de Mena) y la norma 43-101 (Estándares de Declaración para Proyectos Minerales) son herramientas esenciales para que las compañías mineras (Australasia y Canadá) informen a sus inversores o potenciales inversores sobre los resultados de exploración, Recursos Minerales y Reservas de Mena. Estos estándares, establecidos en el JORC 2012 y la NI 43-101, proporcionan un conjunto de criterios mínimos, recomendaciones y guías específicas para garantizar la transparencia y confiabilidad en la declaración pública de dichos resultados.

Los reportes de exploración incluyen información generada en las campañas de exploración, por ejemplo campañas geoquímicas, geofísicas. Además de los resultados debe incluir la descripción detallada de la metodología empleada (NI 43-101).

El código JORC define a los recursos minerales como “una concentración u ocurrencia de material sólido de interés económico en o sobre la corteza terrestre en tal forma, tenor (o calidad) y cantidad que existen prospectos razonables para una extracción económica”, por este motivo estos factores deben aparecer en el reporte de recursos minerales. El código plantea una subdivisión de los recursos en orden de incremento de la confianza geológica, esta es: inferido, indicado y medido (figura 7).

- Los recursos minerales inferidos son aquellos en que la cantidad y el grado fueron estimados, basados en una limitada evidencia geológica, esta no es suficiente para indicar la continuidad del depósito. Estos son los de menor confianza geológica, pero con la continuidad de la exploración esta puede aumentar y convertirse en recursos indicados o medidos.
- Los recursos minerales indicados son aquellos en los que las características como cantidad, calidad, forma, grado son estimados con suficiente confianza geológica, permitiendo tener suficiente detalle para soportar estudios de viabilidad económica y planes de minado.
- Los recursos minerales medidos son los que tienen mayor nivel de confianza geológica, esto se debe a que las características del depósito fueron determinadas con numerosos trabajos exploratorios, en gran detalle y realizadas con técnicas confiables que confirmen la continuidad del depósito. Además, se

establece que esta etapa permitirá realizar un plan detallado de minado y una evaluación final de viabilidad económica del depósito.

Los recursos minerales indicados y medidos pueden pasar a ser reservas de menas probables y probadas, respectivamente. Las reservas de mena son la parte económicamente explotable del recurso mineral medido o probado. Para definir la parte económicamente explotable se deben hacer estudios sobre varios factores que inciden en los depósitos, estos son: de explotación, procesamiento, metalurgia, infraestructura, economía, mercado, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales.

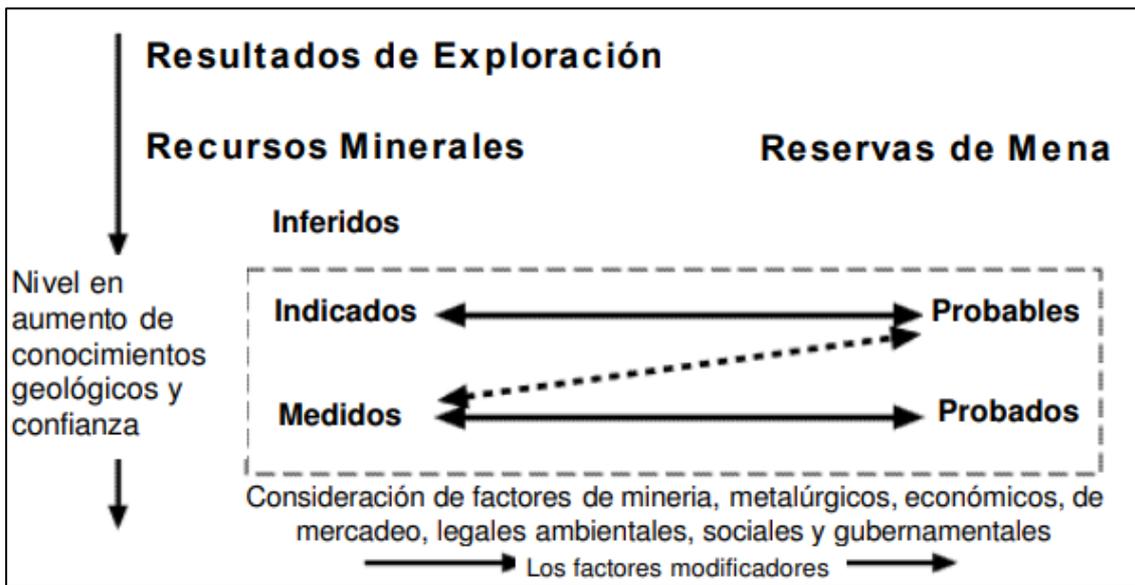


Figura 7. Relación general entre resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mineral (modificado de JORC, 2012).

### 2.3.1. Aseguramiento y Control de la Calidad

En el marco de la exploración geológica, el propósito básico de los programas de Aseguramiento y Control de la Calidad (ACC), también conocidos por sus siglas en inglés como de QA/QC (Quality Assurance/Quality Control), es asegurar la integridad de la información, y garantizar que los datos generados sean de naturaleza y estándares tales que permitan su utilización en estimaciones del recursos y reservas, control de leyes, reconciliaciones, etc. (Simón 2007). El programa de Control de Calidad consiste en la inserción sistemática de muestras de control en los lotes enviados al laboratorio. Al implantar o evaluar los resultados de un programa de ACC en la actividad geológica, es importante, según Simón (2007) conocer tres conceptos básicos:

Precisión: es la habilidad de reproducir consistentemente una medición en condiciones similares. Vinculada a errores aleatorios, su evaluación exige reproducir la medición en condiciones tan cercanas como sea posible a las existentes en el momento en que tuvo lugar la medición original. En el caso del muestreo geológico, por ejemplo, tanto la muestra original como la duplicada deben corresponder a iguales intervalos, métodos similares de muestreo, y se debe prever su envío simultáneo al mismo laboratorio, de modo que se garantice el empleo de iguales procedimientos de preparación y análisis, utilizando los mismos equipos y reactivos, y en lo posible el mismo personal.

Exactitud: se define como la proximidad de los resultados a un valor verdadero o aceptado, y se vincula a errores sistemáticos. El concepto de exactitud está vinculado al de valor real. Al determinar la ley de la muestra, nunca se llega a conocer el valor real; sin embargo, es posible preparar estándares en condiciones muy controladas, y establecer el mejor valor del estándar para cada elemento en particular. Deben ser establecidos a través de múltiples análisis en una serie de laboratorios de elevada reputación técnica.

Contaminación: al preparar o analizar algunas muestras, particularmente las muy mineralizadas, es posible que cierta porción de una muestra o de una solución quede retenida accidentalmente en el equipo y contamine las muestras siguientes. La contaminación se estudia a través de los blancos, que son de hecho muestras estériles, en las cuales los elementos a evaluar se encuentran presentes en cantidades inferiores o muy cercanas a los correspondientes límites de detección.

### 3. Antecedentes

#### 3.1. Antecedentes geológicos regionales

El área de estudio se encuentra en la “Isla Cristalina de Rivera”, perteneciente al Terreno Nico Pérez (Bossi & Campal, 1992). El Terreno Nico Pérez (TNP) es una de las tres unidades tectono-estratigráficas mayores que forman parte del Escudo Uruguayo (Bossi et al., 1998). Las otras dos unidades son el Terreno Piedra Alta (Bossi et al., 1993) y el Terreno Cuchilla Dionisio (Bossi et al., 1998). Estas tres unidades están separadas por discontinuidades de primer orden, las cuales son la Zona de Cizalla Sarandí del Yí (Bossi & Campal, 1992), que separa el Terreno Piedra Alta (TPA) del Terreno Nico Pérez (TNP), y la Zona de Cizalla Sierra Ballena (Bossi et al., 1998), que separa el TNP del Terreno Cuchilla de Dionisio (TCD).

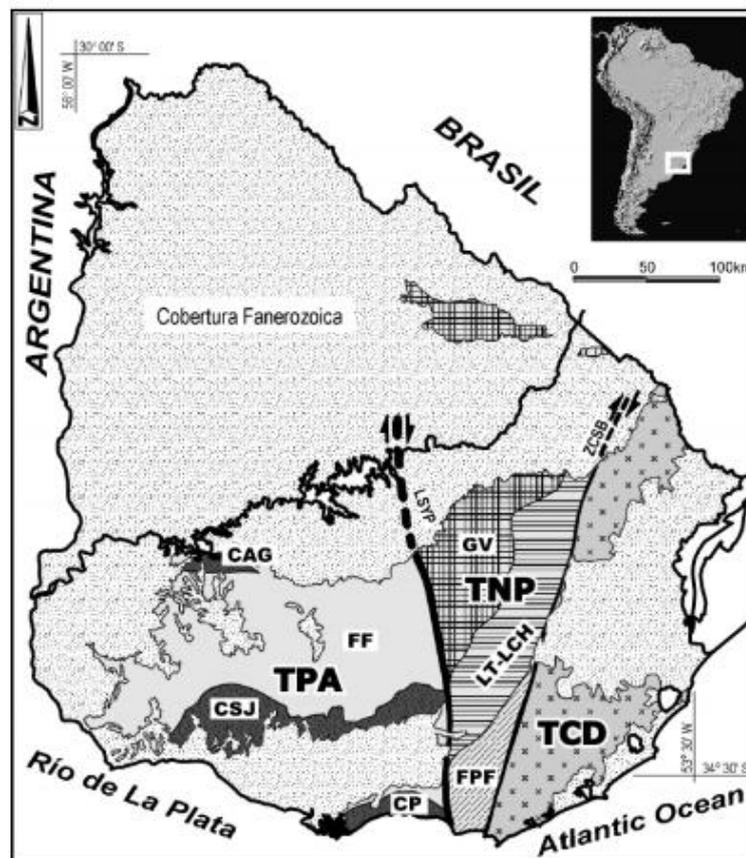


Figura 8. Distribución de los terrenos que componen el basamento uruguayo (Bossi et al., 2001)

Otros autores utilizan un modelo tectonoestratigráfico distinto al anteriormente descrito. Según Almeida et al. (1973) el territorio uruguayo está formado hacia el oeste por el

cratón del Río de la Plata (CRP) y hacia el este por un cinturón orogénico, formado durante el ciclo Brasiliano, denominado Cinturón Dom Feliciano por Fragoso Cesar et al. (1984). Posteriormente el CRP fue separado en dos unidades que corresponden a los terrenos ya mencionados TPA y TNP (Bossi et al., 1993, Bossi & Campal, 1992). Sanchez Bettucci et al. (2009) localiza al TNP entre la Zona de Cizalla Sarandí del Yi y la Zona de Cizalla Fraile Muerto-Maria Albina, basado en Preciozzi et al. (1979). Oyhançabal et al. (2011) concluyen que el TNP es alóctono, y no pertenece al CRP, basado en datos geofísicos y geoquímicos que muestran diferencias entre ambos terrenos (figura 9). El ciclo Brasiliano corresponde a un proceso orogénico ocurrido durante el Neoproterozoico, caracterizado por eventos tectónicos que llevaron a la amalgamación de diferentes terrenos a través de una orogenia de colisión. Este proceso culminó con la formación de Gondwana Occidental al inicio del Cámbrico (Basei et al., 2008).

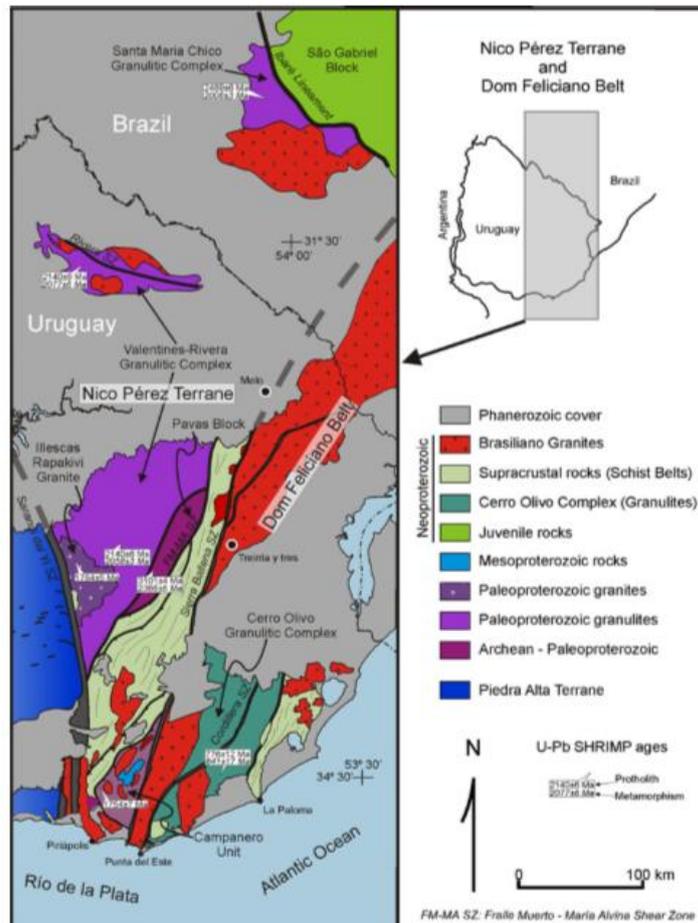


Figura 9. Mapa geológico del Terreno Nico Pérez y límite del Cratón del Río de la Plata (Oyhançabal et al., 2011).

### 3.2. Geología local: Isla Cristalina de Rivera

El término Isla Cristalina de Rivera (ICR) es utilizado desde hace mucho tiempo y hace referencia a rocas del basamento cristalino aflorantes en el departamento de Rivera, rodeadas de rocas sedimentarias pertenecientes a la Cuenca Norte (Ellis, 1998). Oyhantçabal et al. (2011) describe la ICR como un horst estructural generando una “ventana” de rocas precámbricas en el noreste del país, que se extiende a lo largo de 110 Km por unos 30 Km de ancho en su mayor expresión. Presenta una dirección preferencial E-O a NO-SE (figura 10).

El basamento de la ICR fue descrito por Preciozzi et al. (1985) como perteneciente a la unidad Complejo Basal, representado por neises moscovíticos y/o biotíticos, neises anfibólicos y anfibolitas, ortoneises ácidos y básicos, cuarcitas, leptinitas, migmatitas de texturas variadas y metamorfitos profundos. Además, describe granitos Indiferenciados, que presentan composiciones variadas, predominando los calco-alcalinos pero también existen litologías básicas granodioríticas y dioríticas. Por último, se incluye dentro de la ICR a la Formación Minas de Corrales, representada por rocas metasedimentarias de bajo grado.

Otro autor, como Bossi et al. (1998), describe al basamento de la ICR como perteneciente a la Formación Valentines, compuesta por gneisses, piroxenitas, granitoides, cuarcitas magnetito-augíticas (valentinesitas).

Asimismo, Oyhantçabal et al. (2011), describe como basamento de la ICR al Complejo Granulítico Valentines-Rivera, compuesto por ortogneises granulíticos félsicos y máficos, y además a la Formación Vichadero (Ellis 1998), que incluye BIFs, piroxenitas, micaesquistos y mármoles fosteríticos. Además de estas unidades, Oyhantçabal et al. (2012), incluye a la Formación Minas de Corrales (Preciozzi et al., 1985), Zona de Cizalla Rivera y Granitos Neoproterozoicos (figura 10).

La Formación Minas de Corrales (Preciozzi et al., 1985) corresponde a una sucesión metasedimentaria en facies esquistos verdes, incluye areniscas finas a medias, siltitos laminados con intercalaciones de pelitas y areniscas muy finas, calizas, rocas volcánicas ácidas y conglomerados (Cazaux, 2009).

La Zona de Cizalla Rivera es descrita por Sanchez Bettucci et al. (2009) como una zona de cizalla dúctil, que puede ser reconocida por aproximadamente 110 km, con direcciones de EO a NO. Preciozzi et al. (1979) y Cordani et al. (1990) ya describían

una zona tectónica de gran importancia con dirección principal N70O, que se extiende desde las localidades de Vichadero a Minas de Corrales.

Indicadores cinemáticos muestran movimiento en sentido sinistral para la zona de cizalla, además la foliación milonítica presenta una dirección principal NOO-ESE subvertical y el plunge de la lineación muestra una orientación ESE, esto evidencia que es una cizalla producto de compresión oblicua (Oyhantçabal et al., 2012).

Dentro de los granitos neoproterozoicos Oyhantçabal et al. (2012) reconoce a los granitos Las Flores (Preciozzi et al., 1985), Sobresaliente, Amarillo y Manuel Díaz (figura 10).

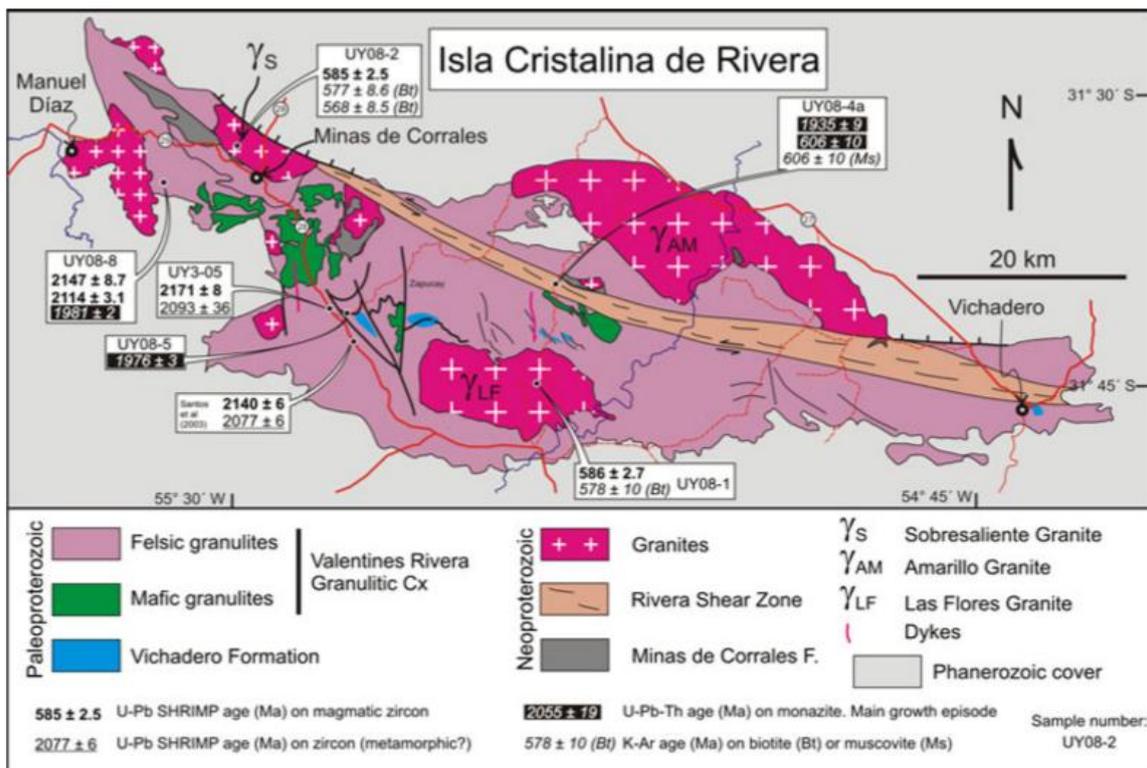


Figura 10. Mapa geológico de la isla Cristalina de Rivera (Oyhantçabal et al., 2012).

### Geocronología

La primera datación de rocas del basamento en el área de estudio, fue realizada por Cordani et al. (1990), quien presentó edades de  $2272 \pm 33$  Ma en isócronas Rb/Sr - Roca total, sobre muestras tomadas en litologías gnésico-graníticas en las proximidades de Minas de Corrales. Por el mismo método obtuvo edades de  $689 \pm 67$  Ma para el Granito Amarillo,  $589 \pm 8$  Ma para el Granito Las Flores, y  $576 \pm 10$  Ma por el método K-Ar para este último granito. Santos et al. (2003) obtuvo edades de  $2140 \pm$

6 y  $2077 \pm 6$  por el método U-Pb SHRIMP para rocas del basamento, descritas como meta-trondhjemita, la primera edad corresponde a la de cristalización y la otra a la de metamorfismo.

Oyhantçabal et al. (2012) realizaron nuevas dataciones (U-Pb SHRIMP en circón, Th-U-Pb en monacita y K-Ar en muscovita), obteniendo los siguientes eventos para la ICR:

1. Magmatismo a los 2.200-2.100 Ma, edad de cristalización para los protolitos de las rocas del basamento.
2. Metamorfismo de alta temperatura 2.100 Ma.
3. Episodio mayor de metamorfismo a los 1.980 Ma (evento granulítico pervasivo de alto grado).
4. Evento principal de cizallamiento a los 606 Ma (Zona de Cizalla Rivera).
5. Edad de 585 Ma para la intrusión de los granitos Las Flores y Sobresaliente.

#### ***Antecedentes de la mineralización en la ICR***

En general, los depósitos de oro de la ICR se consideran de tipo epigenéticos dado que se trata de rocas paleoproterozoicas mineralizadas durante la orogenia Brasiliana (Furtado, 2014). Otros autores como Figueroa (2014) describen los depósitos de la ICR como pertenecientes a los depósitos de tipo Au orogénico. Martyn (2000), propuso dos tipos de depósitos de oro para la ICR, uno asociado a venas de cuarzo y zonas de silicificación en cuerpos intrusivos graníticos, y otro tipo a lo largo de zonas de cizalla y fajas miloníticas afectadas por un intenso hidrotermalismo. Baker (2006) en informe interno describe dos eventos principales que son responsables de la mineralización. El primero durante el Ciclo Brasiliano Temprano, donde se desarrolló el patrón actual de fallas, dominado por el desplazamiento sinistral de la Zona de Cizalla Rivera, seguido de deformación de rocas sedimentarias e intrusión de los granitos Corrales y Las Flores. El segundo evento se da durante el Brasiliano Tardío, en el cual se da una reactivación de las estructuras, pero en este caso con diferente orientación, generando estructuras transtensionales con desplazamiento dextral y además nuevos sistemas de fallas con orientación NO.

### *Antecedentes locales de la mineralización*

Como se señaló en la figura 1, el área de estudio se encuentra en el distrito Minas de Corrales dentro de la Isla Cristalina de Rivera. Este distrito está controlado por una estructura principal, denominada San Gregorio (Figuroa, 2014), que se extiende por al menos 10 km, con aproximadamente 100 metros de ancho. Generalmente está bien delimitada por estructuras de respaldo alto y muro hundido. A lo largo de este sistema se encuentran un conjunto de minas auríferas las cuales de oeste a este son: Santa Teresa, Ombú, San Gregorio, Extensión Este y la más oriental, Arenal. Además asociadas a estas se encuentran las minas Veta Sur, Veta A, Polvorín y Santa Teresa extensión NO (figura 1).

En un estudio estructural realizado en el distrito minero de Minas de Corrales sobre el tren de deformación San Gregorio, Starling (2008) propuso una evolución tectónica compuesta por cuatro eventos de deformación. El primer evento (2.2-2.0 Ga) caracterizado por metamorfismo de alto grado y desarrollo de foliación dúctil. Un segundo evento compresivo (1200 Ma) con sentido NE-SO que habría generado estructuras con direcciones O-NO; evento asociado a la colisión entre el Terreno Piedra Alta y el Terreno Nico Pérez. Un tercer evento caracterizado por compresión con sentido NO-SE probablemente desarrollado durante el Ciclo Brasileño que generó una zona transpresional dextral. Finalmente, un cuarto evento extensional a fines del Paleozoico.

En otro estudio estructural, Baker (2006), propone que las fallas con tendencia noroeste en el sector Corrales presentan segmentos con tendencia este-oeste y otras inflexiones. Estas irregularidades podrían haber tenido origen durante la transpresión del Brasileño Temprano o ser el resultado de la superposición de dos deformaciones oblicuas en un entorno que contiene bloques con competencia mecánica marcadamente diferente. Las inflexiones muestran un fuerte control de la mineralización aurífera, probablemente porque actuaron como curvas de liberación durante los movimientos dextrales del Brasileño Tardío. El mismo cizallamiento dextral creó aperturas de fracturas tensionales en dirección norte-noroeste. (Baker 2006).

### 3.3. Antecedentes Mineros – Trabajos exploratorios previos

Los antecedentes cartográficos más relevantes corresponden a mapas regionales de toda la ICR, mostrando las principales unidades y estructuras (figura 11), no habiendo encontrado mapas de detalle.

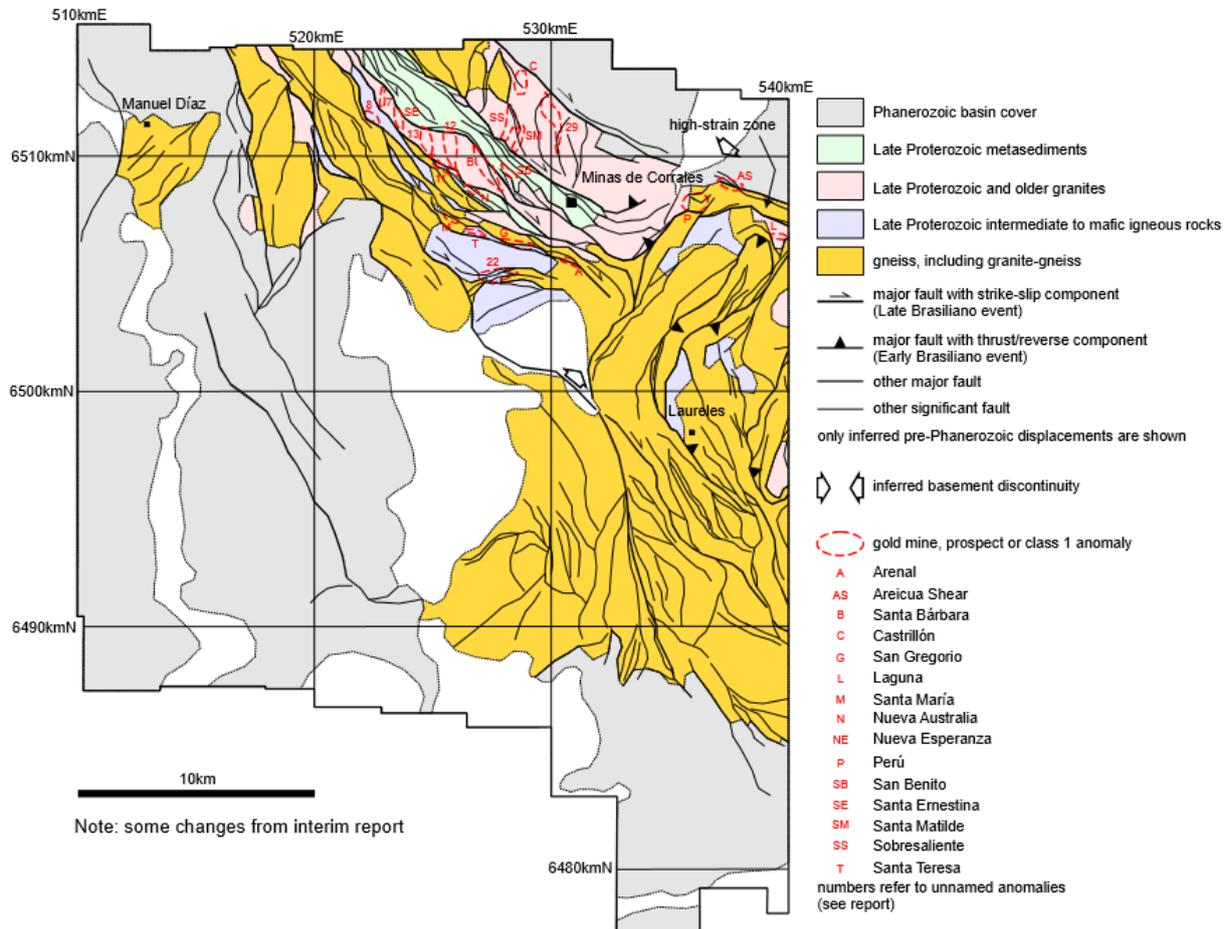


Figura 11, Mapa geológico del sector oeste de la ICR, mostrando las principales unidades y lineamientos estructurales, tomado de Baker (2006).

Los relevamientos geofísicos consistieron en vuelos aerotransportados con dirección óptima norte-sur y espaciado de 100 metros, los cuales fueron realizados por la empresa DIGHEM-CGG Canada Ltd. en el año 1996. El resultado fue mapas de magnetometría de campo total y radiometría de K, Th y U, todos a escala 1:20.000, que abarca toda la ICR.

Los muestreos geoquímicos presentes en la zona comprenden: mallas de suelo y escasos muestreos de afloramientos. Los muestreos de suelos comprenden líneas orientadas N020 con muestreo cada 10 metros, las líneas están separadas entre sí cada 50 metros. Según información proporcionada por el personal encargado del muestreo,

se realizaron mediante medios mecanizados hasta alcanzar el límite entre los horizontes B y C. Estos no cubren toda el área de estudio, faltando en el sector norte y centro sur. Los muestreos de afloramientos aparecen más que nada en la porción NO de la zona, enfocado en un gran afloramiento que se encuentra en ese sector.

Por último, existen trincheras y pozos RC exploratorios con rumbo principal NE. La gran mayoría no presenta descripción litológica y de alteraciones, sólo valores de contenido de oro. Están concentrados en el sector este de la zona de estudio (figura 12).

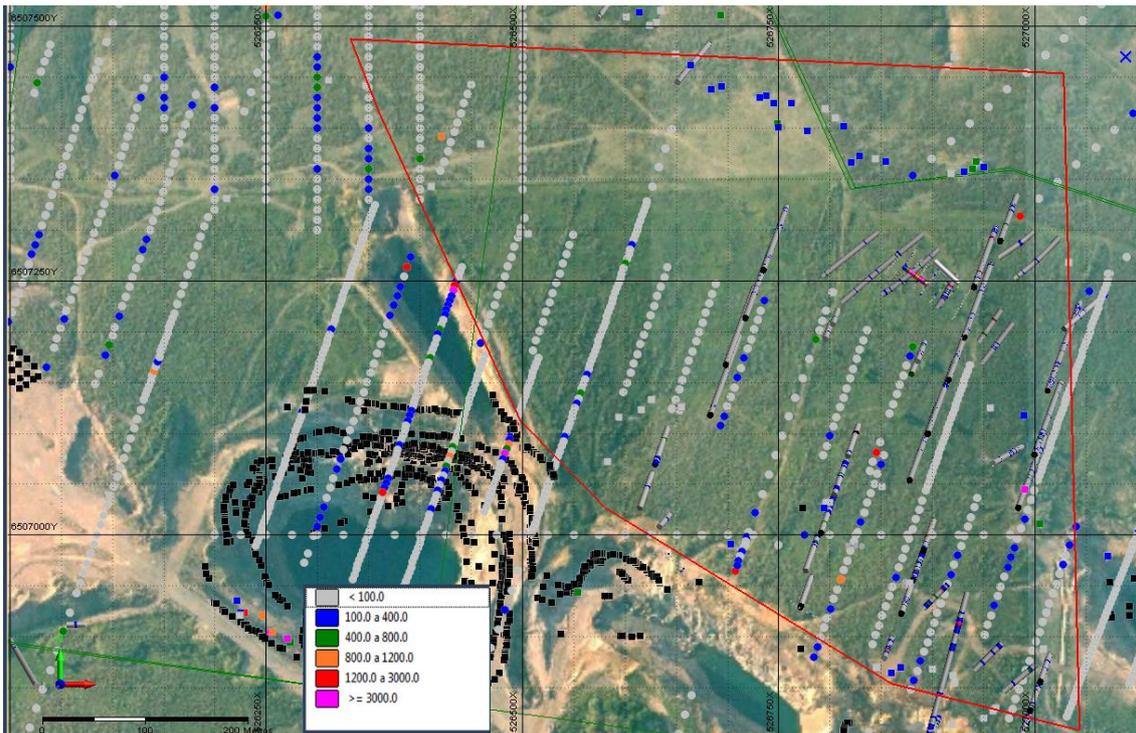


Figura 12. Imagen satelital mostrando la ubicación de los muestreos geoquímicos de suelos, afloramientos, pozos y trincheras de trabajos exploratorios anteriores. La línea verde de la parte superior derecha de la imagen corresponde al límite de la Concesión para Explotar y la línea roja corresponde al área de estudio. El cuadro de referencia muestra intervalos con diferentes colores en ppb de oro (Imagen tomada de base de datos de Orosur).

## 4. Resultados

### 4.1. Estudios conceptuales – trabajo de gabinete

En esta primera instancia se presenta la planificación de la metodología exploratoria empleada. Asimismo, se presentan los resultados obtenidos de la revisión e interpretación de los antecedentes mineros, con la finalidad de planificar los trabajos de campo.

En el presente trabajo se decidió seguir la metodología de exploración propuesta por Marjoribanks (2010). Para la elección del prospecto El Muro se utilizaron ambas estrategias de abordaje de exploración, conceptual y empírica, pero se asemeja más a la curva C (figura 13), que representa los proyectos de exploración basados en ideas conceptuales, ya que el trabajo surge como una estrategia para ampliar cuerpos mineralizados en minas ya existentes o reconocer nuevos yacimientos próximos a éstas, donde se cuenta con trabajos exploratorios previos y concesión para explotación. Por lo tanto, se enmarca dentro de un proyecto de exploración brownfield en el cual se encontraban un acotado número de prospectos.

Asimismo, se decidió utilizar la terminología propuesta por Moon et al. (2006) para describir la evaluación de proyectos, esta grafica con claridad los estudios requeridos en cada una de las etapas de la campaña de exploración.

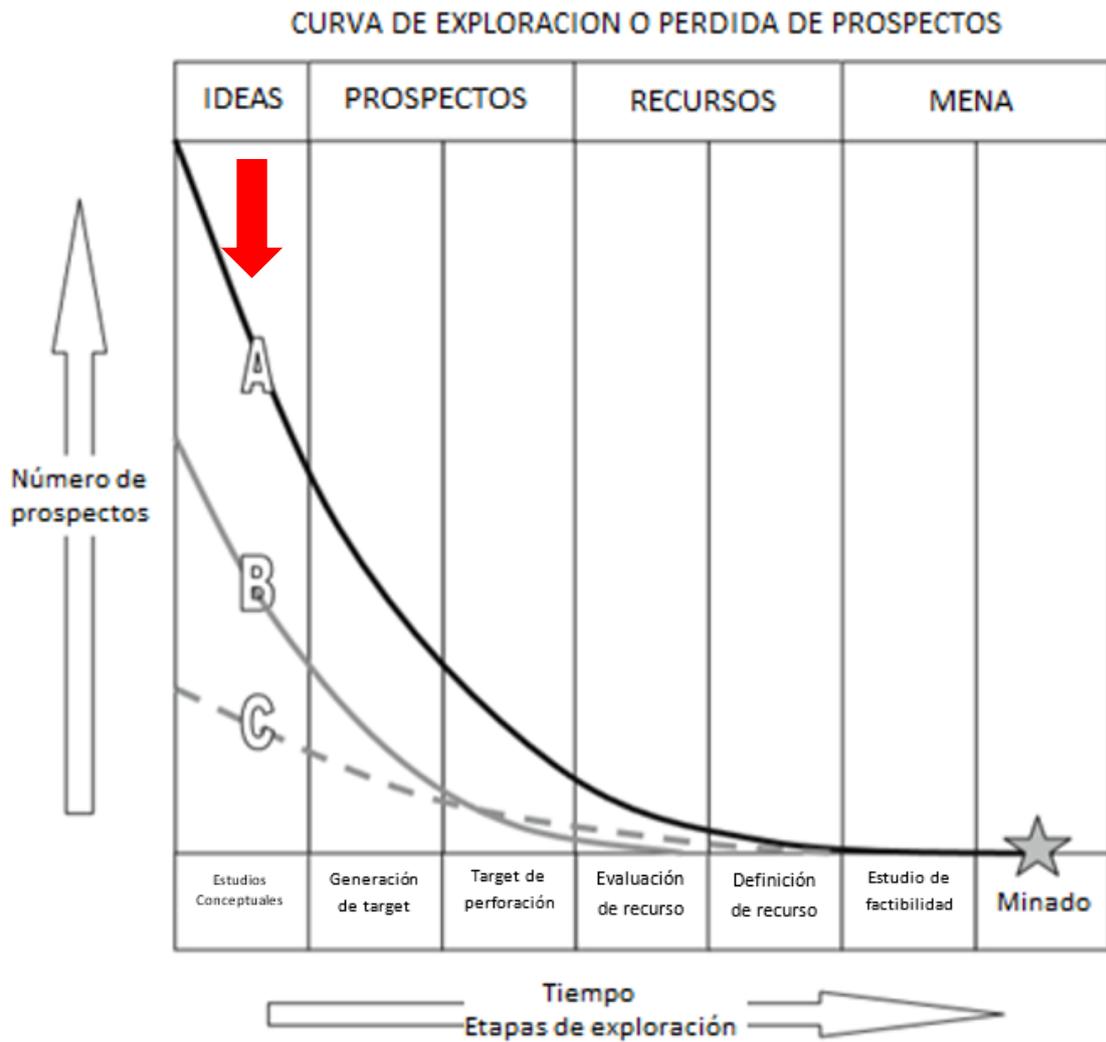


Figura 13. Curva que muestra la metodología de exploración con sus respectivas fases. La flecha roja indica etapa exploratoria (modificado de Marjoribanks, 2010).

#### 4.1.1. Fotointerpretación

Como resultado de la fotointerpretación se detallan a continuación algunas observaciones sobre la geomorfología, lineamientos y labores mineras antiguas. Cabe aclarar que las fotos son del año 1966, donde todavía las minas de la actualidad no se habían explotado.

Se pudo apreciar que la zona central es la más elevada del área de estudio y hacia el este se encuentra la zona de mayor depresión, la cual corresponde a un curso de agua intermitente con dirección principal NO-SE. También se observaron labores antiguas, alineadas a esta dirección principal, que coinciden con las minas existentes en la actualidad. Se apreciaron lineamientos con dirección NE, pero principalmente con dirección NO-SE (figura 14), coincidiendo con la dirección de la mineralización de las

minas adyacentes, Polvorín y Santa Teresa. Se estudiaron las texturas, colores, relieve y lineamientos reflejados en las mencionadas minas, para buscar similitudes en el resto del área de estudio.

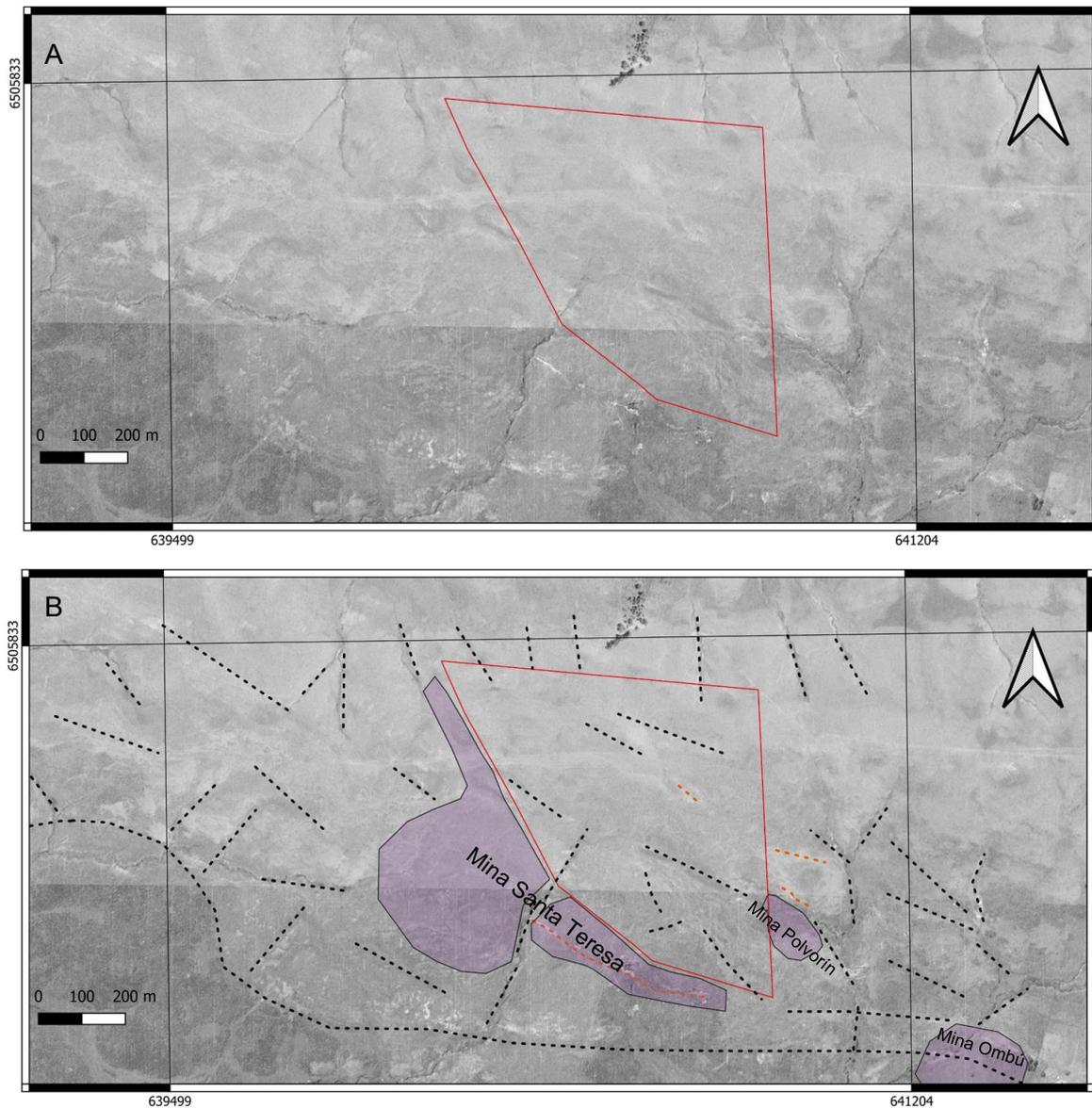


Figura 14. A) Foto aérea del área de estudio donde se marca en rojo el prospecto El Muro. B) Fotointerpretación donde se marcan con línea negra punteada los lineamientos interpretados, líneas punteadas naranja son labores antiguas, polígonos violetas corresponde a minas ya explotadas con sus respectivos nombres.

#### 4.1.2. Geofísica

En esta sección se presenta la interpretación realizada sobre las imágenes geofísicas presentes en el área de estudio.

Las imágenes fueron interpretadas, marcando con lineamientos los principales cambios en las tonalidades de colores, intentando reflejar posibles estructuras o cambios litológicos.

Estos lineamientos muestran una dirección NO - SE, coincidiendo con la fotointerpretación y la dirección de las minas presentes en la zona. También se reconocieron lineamientos con dirección NE - SO a E - O. Además en el sector norte de todas las imágenes de radiometría se pudo apreciar un fuerte cambio en las tonalidades, pudiendo reflejar un cambio litológico (figura 15). También en el sector norte y noroeste se puede apreciar una anomalía magnética positiva que deberá ser comprobada en el campo.

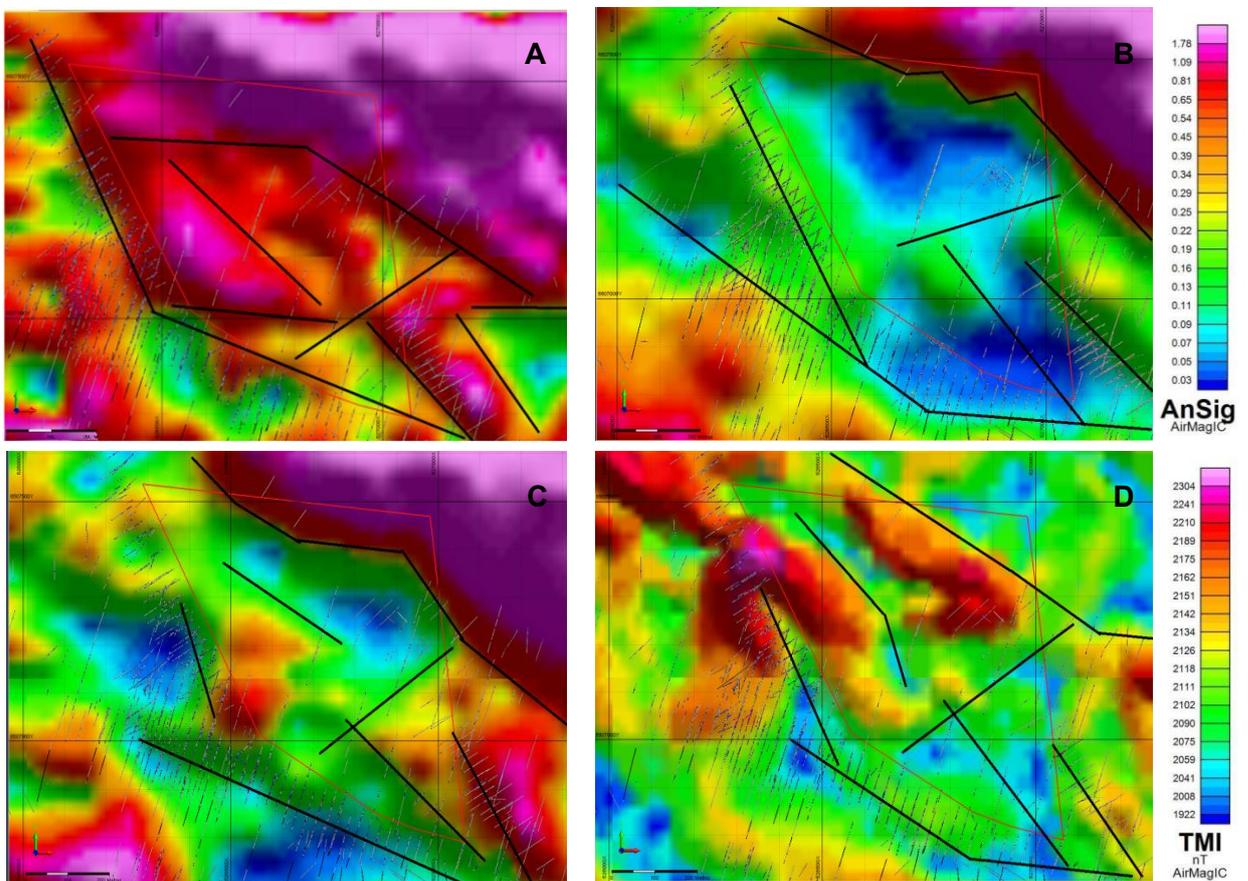


Figura 15. Interpretación de imágenes geofísicas de radiometría y magnetometría, se marcaron con líneas negras los principales contrastes de colores que se reconocieron, en rojo se señala el Prospecto El Muro. A) Radiometría de Uranio (ppm). B) Radiometría de Potasio (%). C) Radiometría de Torio (ppm). D) Magnetometría (nT) (Imagen modificada de base de datos de Orosur).

#### 4.1.3. Geoquímica

En esta sección se muestran los resultados de la interpretación de los muestreos geoquímicos de suelos y afloramientos existentes en el área de estudio.

Para la interpretación de los datos existentes de suelos se realizó un análisis geoestadístico, permitiendo reflejar con mayor claridad posibles anomalías. El análisis de los datos de los suelos presentes para la zona de estudio permitió definir el límite de background en 25 ppb de oro. En la zona centro sur, se agruparon los tenores más altos y se pudo marcar una posible anomalía con dirección E – O y otra NO. Se marcó una zona de interés para ser relevada en campo, ya que no presenta muestreos de suelo y los valores en las proximidades marcan anomalías (figura 16). En la zona norte también aparecen muestras de suelo que marcan alto tenor de oro, pero estas no muestran un agrupamiento o una orientación preferencial, lo cual no permitió interpretar una zona anómala. Para este sector se considera necesario complementar con mapeo de campo que permita visualizar con mayor claridad a que podrían estar asociado dichos valores. Se marcó una zona con potencial geológico la cual agrupa casi en su totalidad valores anómalos (figura 17).

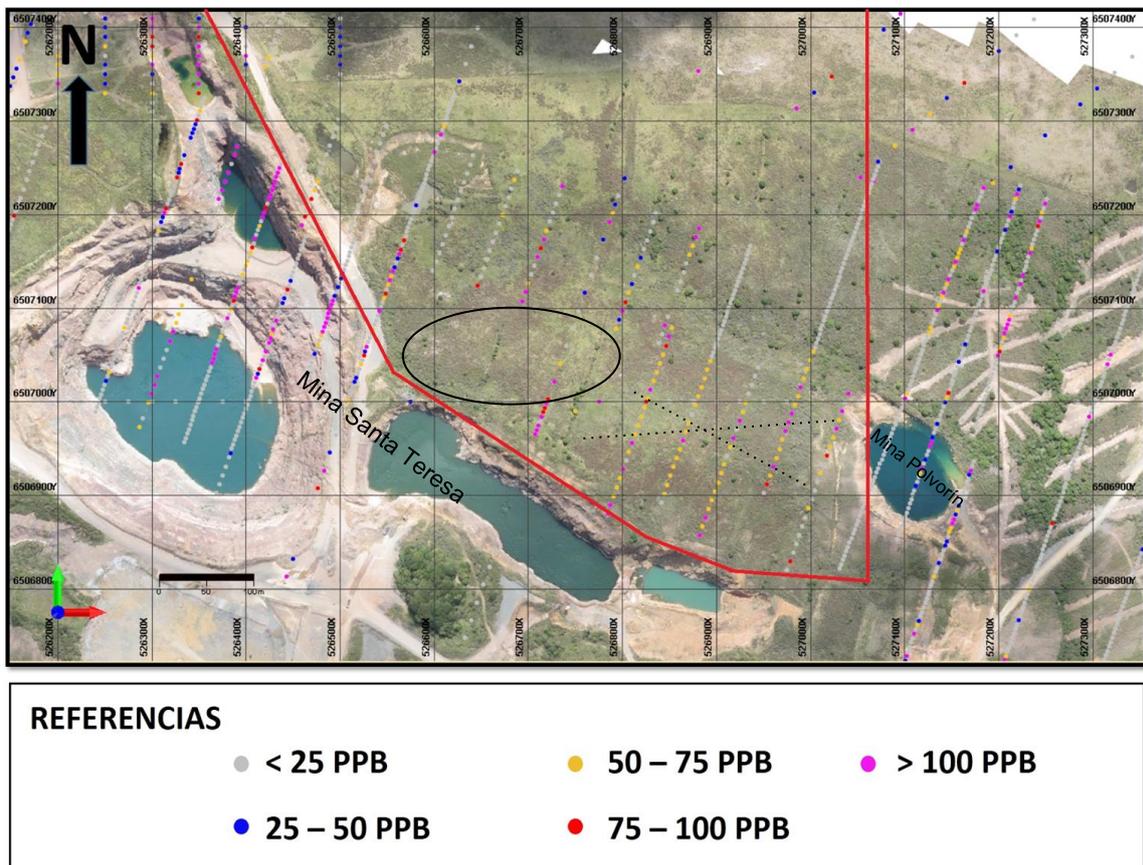


Figura 16. Imagen satelital que muestra ubicación de muestreos geoquímicos de suelo, corresponde a valores de oro en ppb. Círculo negro muestra la zona de mayor interés para futuros muestreos, con lineamientos negros posibles anomalías, y en rojo se marca el polígono del prospecto (Imagen modificada de base de datos de Orosur).

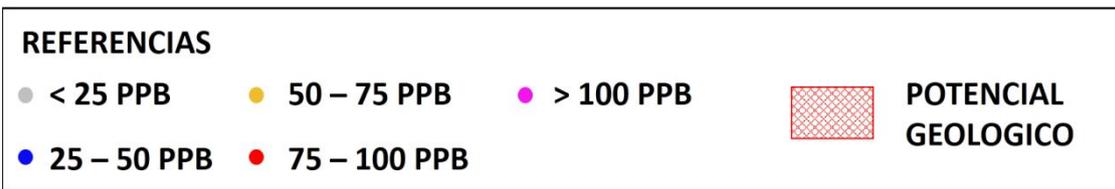
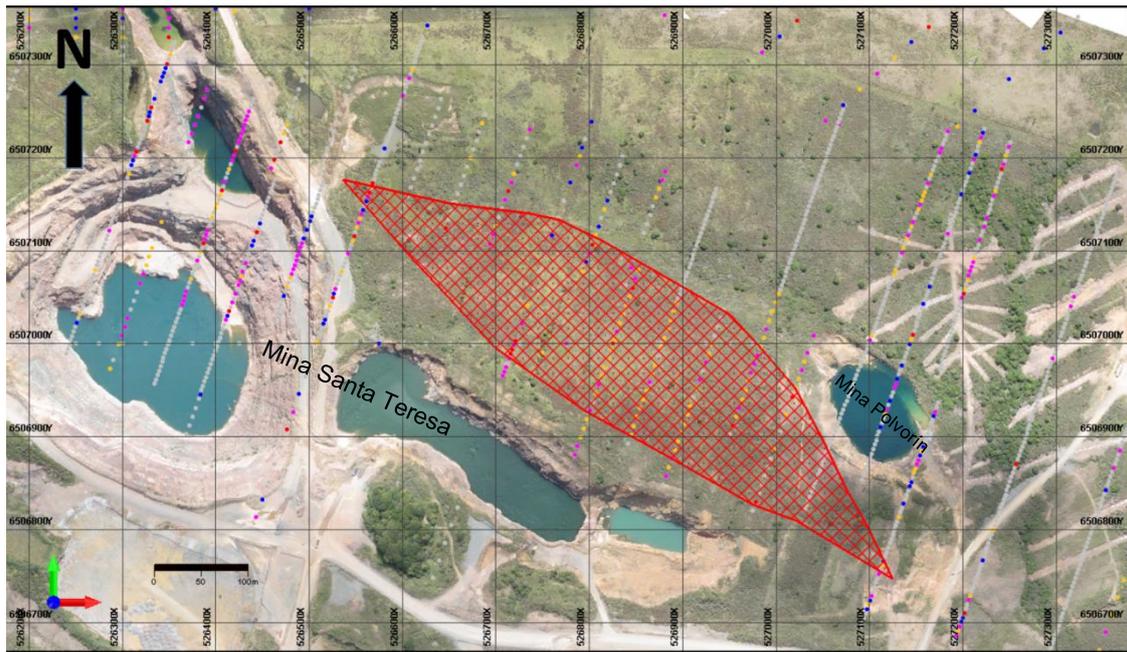


Figura 17. Imagen satelital mostrando distribución de muestreos de suelo, el área marcada en rojo agrupa zona con anomalía, (Imagen modificada de base de datos de Orosur).

#### 4.1.4. Interpretación de trabajos previos

En esta sección se presentan los resultados derivados de la interpretación conjunta de los trabajos exploratorios existentes en el área de estudio. Corresponde al primer punto de toma de decisión (figura 18) sobre los estudios conceptuales.

Se realizó una superposición de la fotointerpretación con los lineamientos interpretados en las imágenes geofísicas, marcando áreas favorables, con posibles coincidencias estructurales y descartando lineamientos, que por su proximidad fueron interpretados, pero pertenecen a las minas ya explotadas adyacentes a la zona. Posteriormente se realizó la superposición de los trabajos de muestreo geoquímico de roca, suelos, pozos y trincheras, mostrando las zonas donde aparece información y donde no. En las zonas que aparecen estos resultados, se filtraron los valores para reflejar posibles anomalías.

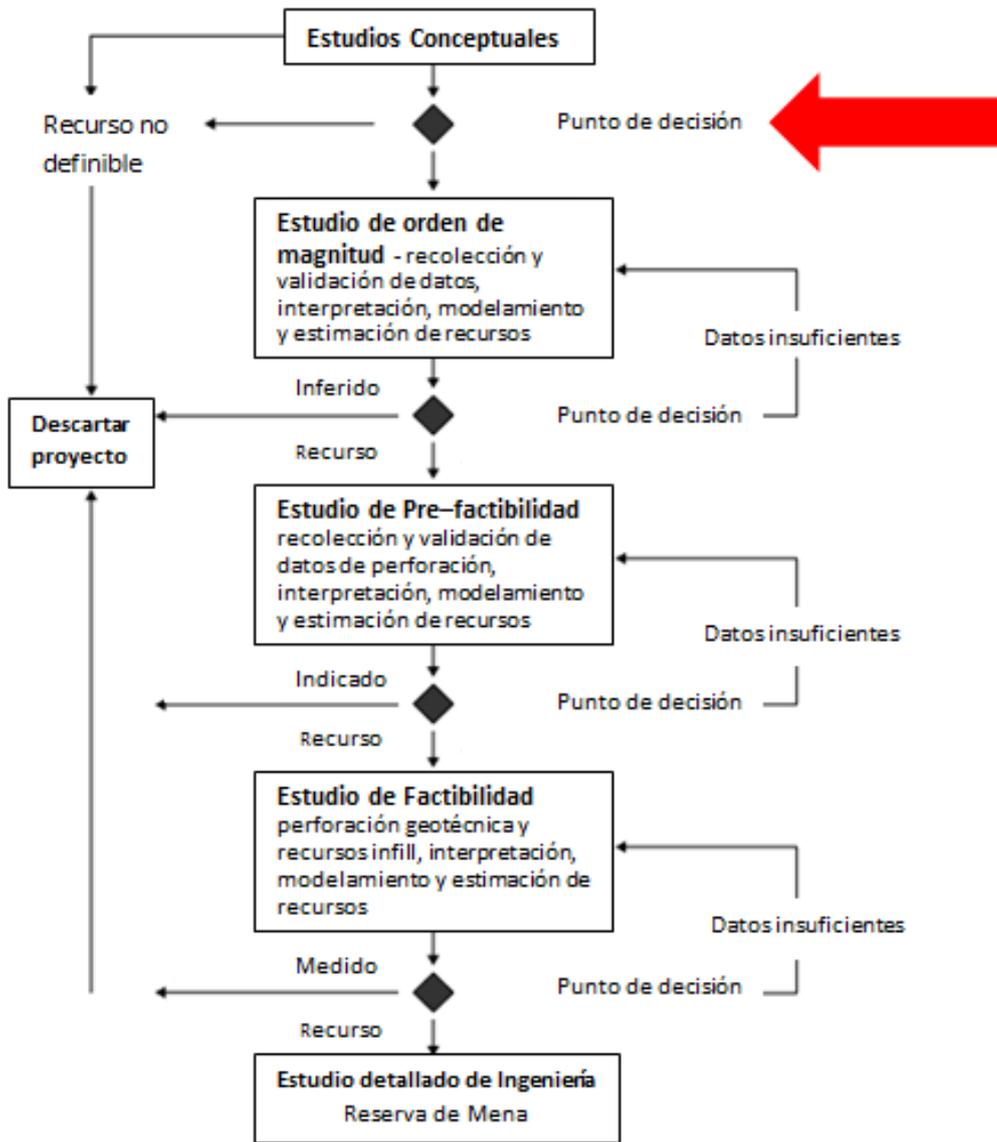


Figura 18. Muestra la distribución de los estudios para evaluación de proyectos, la flecha roja indica el punto de decisión que corresponde, modificado de Moon et al. (2006).

Con la revisión e interpretación de los trabajos previos se delimitaron zonas de interés para ser relevadas en el campo. Estas fueron enumeradas en orden de prioridad (figura 19) en base a la interpretación estructural, mayor presencia y mejores resultados de los trabajos exploratorios previos.

Zona 1: la fotointerpretación e interpretación de imágenes geofísicas marcan un posible lineamiento estructural NO-SE. Además la presencia de resultados de muestreo de suelos, trincheras y pozos exploratorios marca anomalías geoquímicas positivas en ese sector.

Zona 2: la fotointerpretación e interpretación de imágenes geofísicas marcan un posible lineamiento estructural NE-SO a E-O. Algunos muestreos de suelos muestran anomalías y algunos pozos exploratorios también. En esta zona es donde faltan más trabajos exploratorios.

Zona 3: la interpretación estructural marca una posible estructura que puede ser la continuidad de la Mina Polvorín. Algunos muestreos de suelos marcan anomalías bajas pero los pozos exploratorios no.

Zona 4: la interpretación estructural marca una posible estructura NO-SE, pero hay muy pocos trabajos previos, solamente muestreo de afloramientos que marcan anomalías bajas.

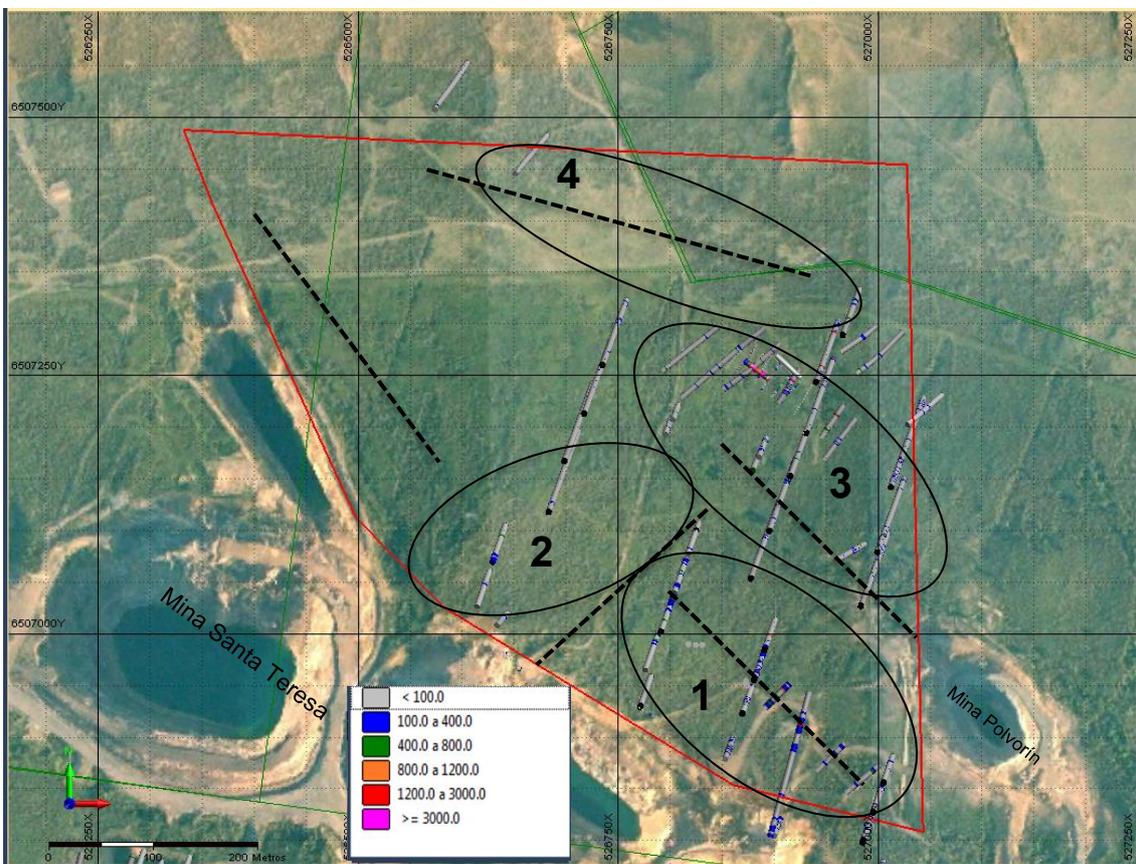


Figura 19. Imagen satelital mostrando las zonas de interés para ser relevadas en el campo, la numeración indica el orden de prioridad. El cuadro de referencia muestra intervalos con diferentes colores en ppb de oro, (Imagen modificada de base de datos de Orosur).

## 4.2. Generación de target - Trabajo de campo

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del trabajo de campo, incluye las descripciones de las litologías identificadas con su mapeo geológico resultante. Se

considera que esta etapa ya es parte de la generación de un target (figura 20), debido a que se generó nueva información, sin evaluación de trabajos previos.

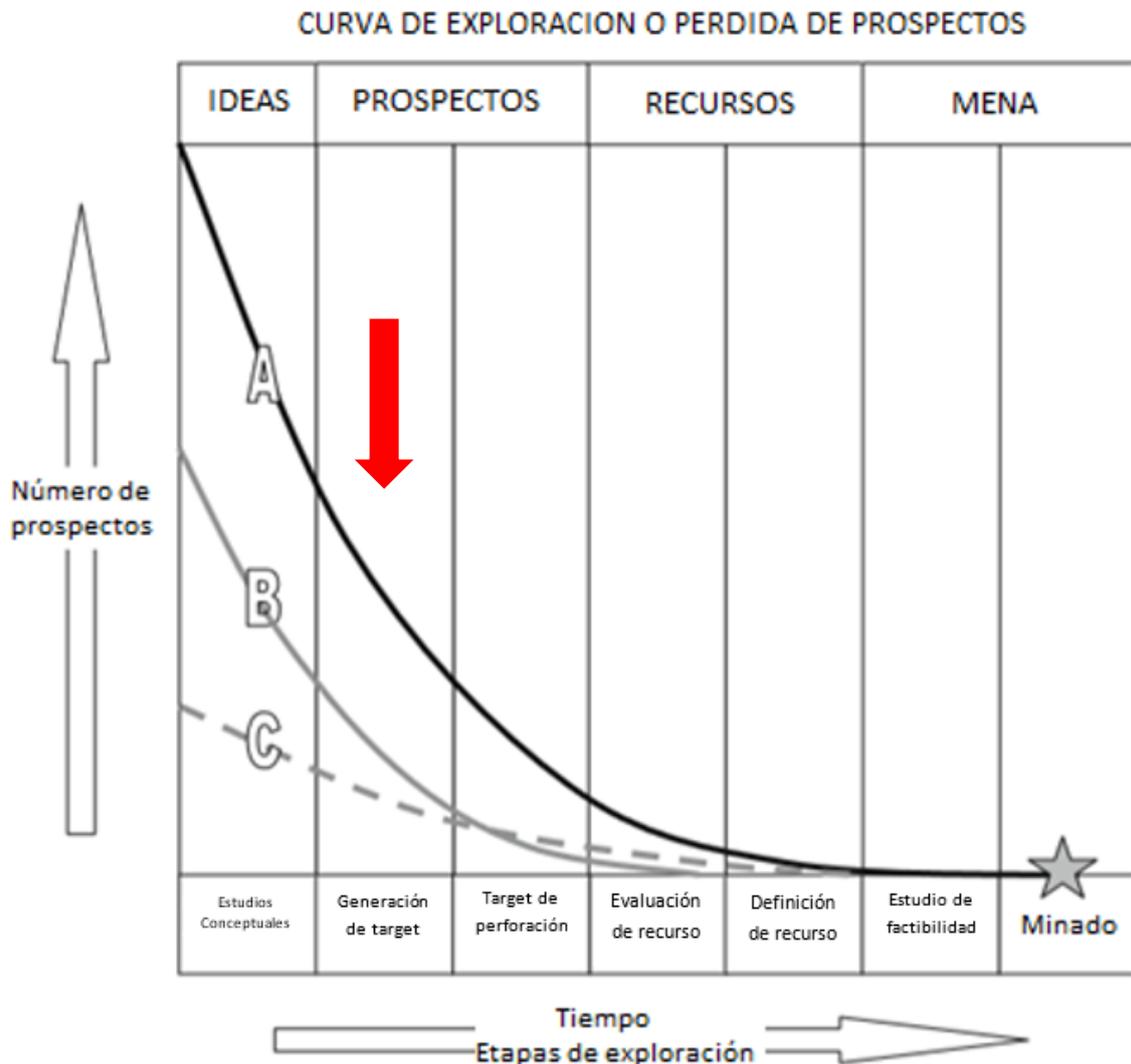


Figura 20. Curva que muestra la metodología de exploración con sus respectivas fases. La flecha roja indica etapa exploratoria (modificado de Marjoribanks, 2010).

#### 4.2.1. Mapeo Geológico

Se identificaron dos litologías principales, una de composición félsica y otra máfica. En cada una de ellas se reconocieron diferencias en alteraciones y deformación, pero presentan similar composición. Estas fueron nombradas utilizando una nomenclatura que empleaba el Departamento de Geología de la empresa para unificar todas las descripciones. Se tomaron muestras de las rocas más representativas del área para su posterior descripción en muestra de mano y petrográfica, cabe aclarar que la muestra de roca félsica fue tomada en un afloramiento en la zona central del área y la máfica fue

tomada en las proximidades del borde de la Mina Polvorín, ubicada en la porción sureste. Estas litologías se describen a continuación:

- UFE (undifferentiated felsic, félsica indiferenciada): en esta se agrupó todas las rocas de composición félsica que presentan deformación o alteración. Estas rocas presentan textura granoblástica, fanerítica, con tamaño de grano medio a grueso (figura 21). Están compuestas en su mayor porcentaje por feldespato potásico, cuarzo y en menor proporción plagioclasa, sin o con muy escasa presencia de minerales máficos. Se pudo apreciar que los cristales de cuarzo están alargados y orientados según una dirección preferencial, que en ocasiones forman un leve bandeamiento. En ocasiones presentan venillas de cuarzo con opacos y también diseminados, con evidencias de oxidación.



Figura 21. UFE en afloramiento y muestra de mano.

Se realizó lámina delgada de esta muestra, y se observó que corresponde a una roca holocristalina, fanerítica e inequigranular. Está compuesta en porcentajes estimados de: 40% feldespato potásico, 35% cuarzo, 20% plagioclasa y 2% opacos. El cuarzo se presenta principalmente en cristales gruesos, anhedrales, con caras parcialmente estiradas en una orientación preferencial y extinción ondulante (figura 22). En ocasiones presenta bordes lobulados, con presencia de subgranos más pequeños en los bordes. También presenta zonas donde los cristales de cuarzo muestran características de ribbons, generando un aspecto de bandeo gnésico (figura 22 C). El feldespato y la plagioclasa se presentan formando una matriz, con cristales de tamaño medio,

anhedrales, con textura granoblástica, y en ocasiones con intercrecimiento perfitico. Presentan bordes lobulados con presencia de sub granos en los límites de cristal, mostrando evidencia de recristalización dinámica. Los feldespatos se presentan muy fracturados y mostrando zonas donde se encuentran muy alterados, siendo reemplazados por cristales pequeños de sericita (figura 22 D). Como minerales accesorios, 2% aproximadamente, se reconocieron opacos con presencia de oxidación.

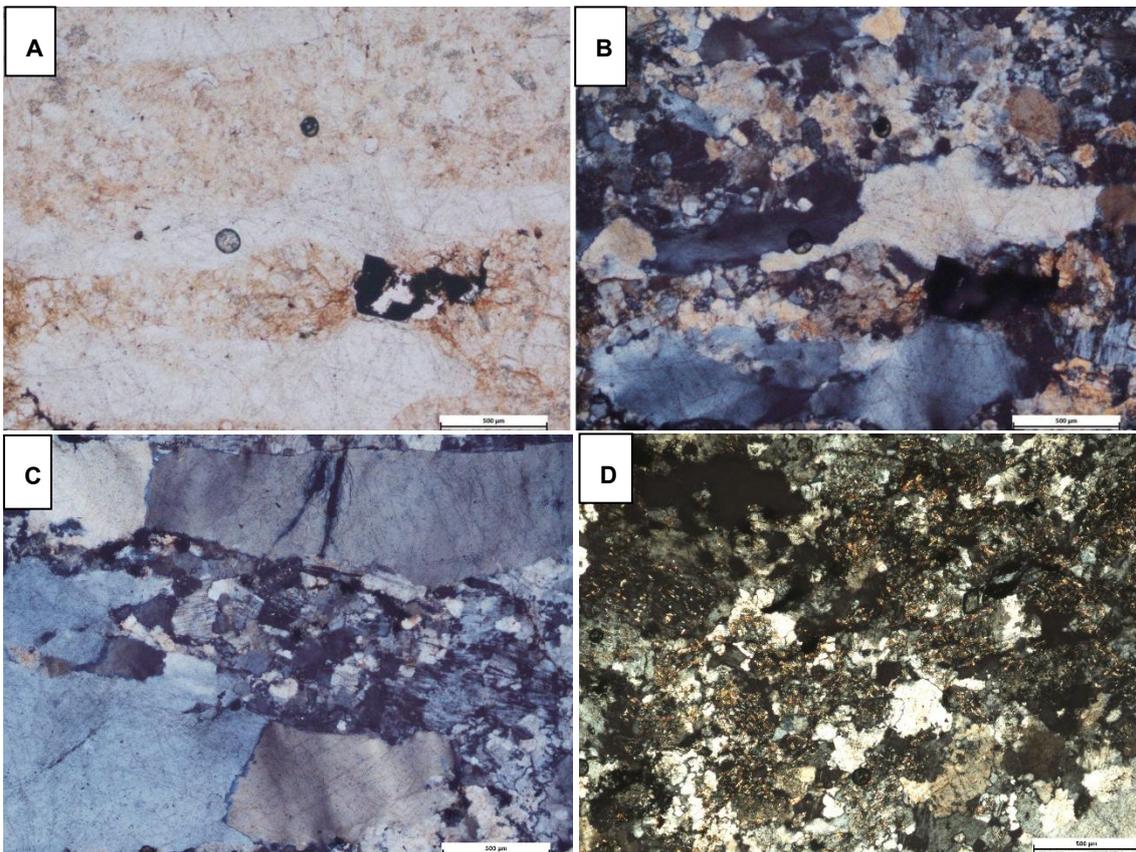


Figura 22. Fotomicrografías a luz transmitida de UFE. A) Se puede apreciar cristales de cuarzo de grano grueso, orientados en una dirección preferencial, cristales de feldespato y plagioclasas de grano medio y bordes lobulados, también opaco parcialmente oxidado. Luz plana polarizada (LPP). B) Misma vista que en A, pero con polarizadores cruzados (PC). C) Cristales de cuarzo mostrando características de ribbons, PC. D) Feldespatos alterados, siendo reemplazados por cristales pequeños de sericita, PC. La barra de escala en todas las fotos corresponde a 500  $\mu\text{m}$ .

En luz reflejada se puede observar que los opacos corresponden a cristales euhedrales, que por su formas cuadradas pudieron ser pirita o magnetita (figura 23), pero se encuentran parcialmente lixiviados, formando boxworks o reemplazados por óxidos e hidróxidos de hierro, como goethita. A macroescala, los boxworks se aprecian como una

estructura de forma cúbica, en la cual los minerales han sido disueltos o removidos por procesos de alteración hidrotermal o meteorización.



Figura 23. Fotomicrografías a luz reflejada de UFE. Se puede apreciar en ambas imágenes cristales euhédricos de goethita de color blanco-grisáceo y algunos parcialmente removidos, rodeados de fracturas. La barra de escala corresponde a 100  $\mu\text{m}$ .

- IMU (undifferentiated mafic, máfica indiferenciada): se agrupan todas las rocas de composición máfica que presentan deformación o alteración. Tienen tamaño de grano fino a medio, con textura granoblástica y en ocasiones una textura denominada “sal y pimienta”. Son de color verde oscuro (figura 24) y están compuestas por anfíbol, epidoto, sericita, plagioclasa, clorita, carbonato, cuarzo y pirita. Presentan alteración clorítica, carbonática, subordinadamente sericitización, epidotización y silicificación. En ocasiones presentan planos de fracturas donde se aprecia un color rojizo producto de oxidación.

Al microscopio petrográfico con luz transmitida, se puede apreciar que corresponde a una roca holocristalina, equigranular, con tamaño de grano fino a medio, con rango aproximado entre 0.5 a 0.1 milímetros. Se aprecia que la roca presenta alteración hidrotermal, con cristales de anfíboles poco delimitados e irregulares, mostrando diferencias composicionales entre el núcleo y borde, evidenciando procesos de reemplazo, lo que dificulta el reconocimiento de los minerales. Se identificó en mayor porcentaje anfíboles de colores verdes amarrados (hornblenda), alterados parcialmente a clorita y epidoto. También se reconoce plagioclasa, la cual se aprecia muy fracturada alterada a sericita y epidoto (figura 25 E y F). Además se aprecia la presencia de cuarzo en cristales pequeños y formando venillas de cuarzo - carbonato, que atraviesan toda la roca (figura 25 A y B). Como minerales accesorios, aproximadamente 5%, se observan opacos de hábito subhedral, los cuales en

ocasiones se presentan diseminados o también como inclusiones, siguiendo planos preferenciales, dentro de los anfíboles (figura 25 C).

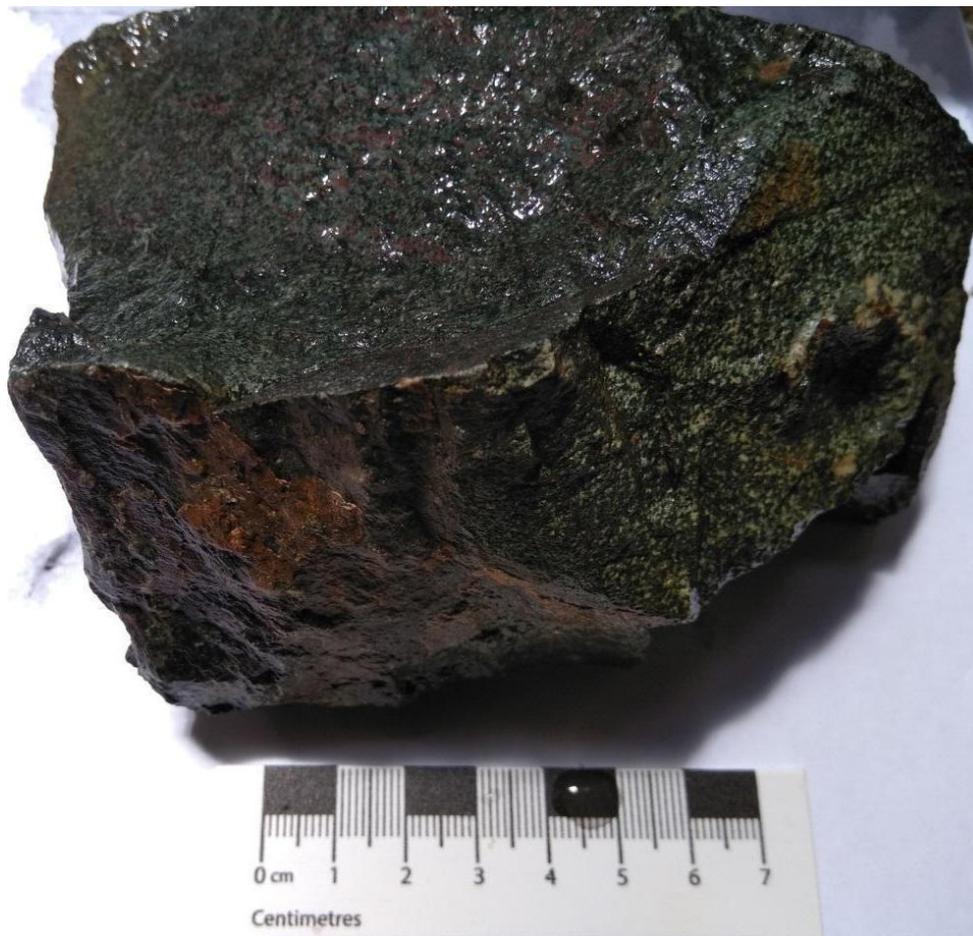


Figura 24. Muestra de mano de la litología mapeada como IMU.

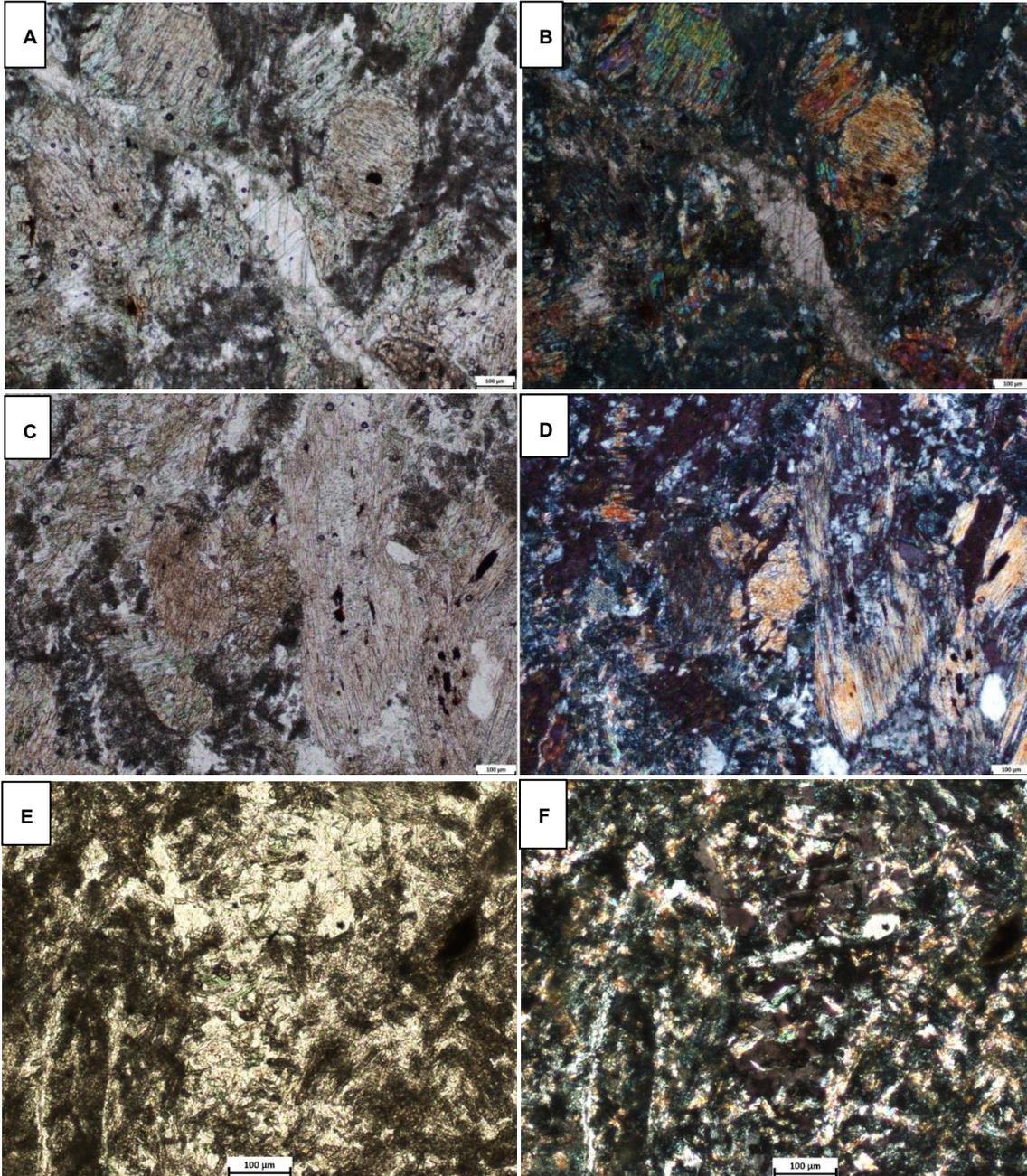


Figura 25. Fotomicrografías a luz trasmítida de IMU. A) Anfíboles y venilla de cuarzo carbonato atravesando la roca, LPP. B) Misma vista que en A con PC. C) se puede apreciar cristales de anfíboles de colores verdes y marrones, con evidencias de reemplazo para clorita, epidota y opacos, LPP. D) Misma vista que en C con PC. E) plagioclasa muy alterada, siendo reemplazada por sericita y epidoto, LPP. F) Misma vista que en C con PC. La barra de escala corresponde en todos los casos a 100 µm.

En luz reflejada se pudo observar pirita en cristales subhedrales, con posibles inclusiones de esfalerita. La pirita se encuentra diseminada y en ocasiones presenta evidencia de oxidación, representado por la aparición de hidróxidos de hierro en los bordes de los cristales.

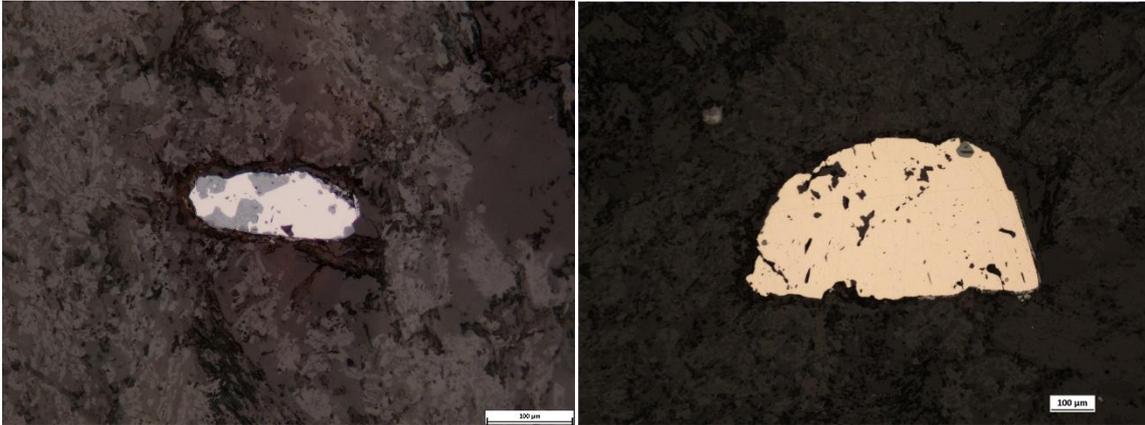


Figura 26. Fotomicrografías a luz reflejada de IMU. A la izquierda se observa pirita (amarillo), con inclusiones de esfalerita (gris). A la derecha también se observa cristal de pirita con pequeña inclusión de esfalerita en el borde superior. Barra de escala correspondiente a 100 µm.

- BIF (formaciones de hierro bandeado): En el sector NO de la zona se apreció un gran afloramiento de BIF que permitió identificar otra unidad en la zona (figura 27). Son de color pardo rojizo a negro, están compuestas en su mayor porcentaje por minerales de hierro y bandas de sílice. Se pudieron tomar algunas medidas de disposición que mostraron rumbo N140 y buzamiento subvertical de aproximadamente 80SO. Esta unidad permitió corroborar la anomalía que se apreciaba en la magnetometría aérea.
- IGR (Roca ígnea Granítica): En el sector norte de la zona de estudio se pudo comprobar su presencia. Esta unidad corresponde a una roca granítica de color rosado, con textura fanerítica, con tamaño de grano medio a grueso, compuesta principalmente por feldespato, cuarzo, plagioclasa y biotita. Esta unidad fue previamente diferenciada por un fuerte contraste de colores en las imágenes geofísicas radiométricas, que luego se encontró en la bibliografía que ya había sido diferenciado y mapeado como Granito Corrales por Martyn (2000). Este lo describe como un granito alcalino, con una fuerte respuesta en el canal de torio y potasio que lo delimita claramente de las otras unidades existentes en el área.



Figura 27. Afloramiento de BIF, arriba se puede apreciar una vista panorámica. Abajo a la izquierda afloramiento donde se puede apreciar la orientación mineral y a la derecha muestra de mano donde se aprecian óxidos e hidróxidos de hierro con venillas de cuarzo.

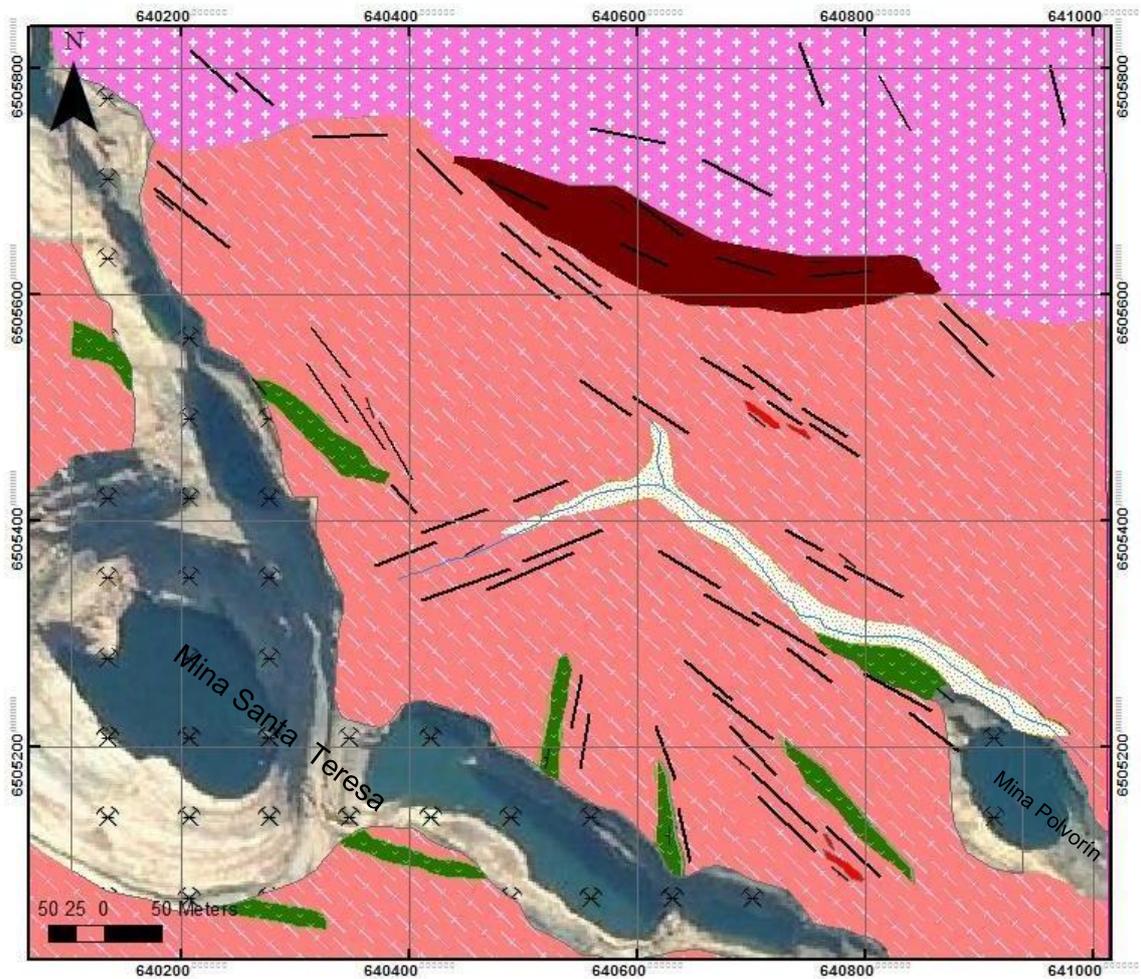
- QZV (Venas de cuarzo): Se pudieron reconocer 2 venas de cuarzo aflorando, las cuales presentan espesores de hasta 50 cm. Estas fueron representadas como otra unidad en el mapa geológico debido a su interés. Están compuestas por cuarzo blanco, lechoso y en ocasiones presencia de pirita con oxidación (figura 28). Se tomaron muestras de roca y fueron enviadas al laboratorio para analizar el tenor de oro, dando resultados mayores a 1 g/ton para ambas muestras.

Las mediciones estructurales de disposición y diaclasas realizadas en los afloramientos muestran una orientación predominante NO-SE (N320–N140), coincidente con la registrada en las minas adyacentes. Esta orientación resulta además muy similar a la de la estructura local principal San Gregorio y a la regional Zona de Cizalla Rivera.



Figura 28. Afloramiento de vena de cuarzo y muestra de mano, corresponde a la zona que se había identificado como prioridad 1.

# Mapa Geológico del prospecto "El Muro"



**Unidades Litoestratigráficas**

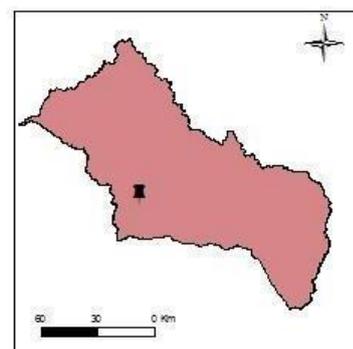
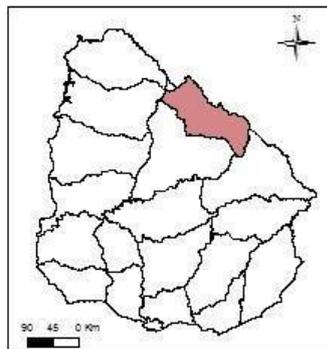
	Cuate mario
	QZV
	IGR
	BIF
	IMU
	UFE

**Referencias geológicas**

	Buzamiento
	Lineamientos
	Minas

**Cartografía**

	Cañada
--	--------



Sistema de Coordenadas WGS 1984 UTM Zone 21S

Figura 29. Mapa geológico del área de estudio.

#### 4.2.2. Estudio de orden de magnitud

En esta sección se hace una evaluación de la información recabada del mapeo geológico y de las unidades presentes en el área, con el fin de tomar una decisión de descartar, generar más datos o avanzar con el proyecto exploratorio (figura 30).

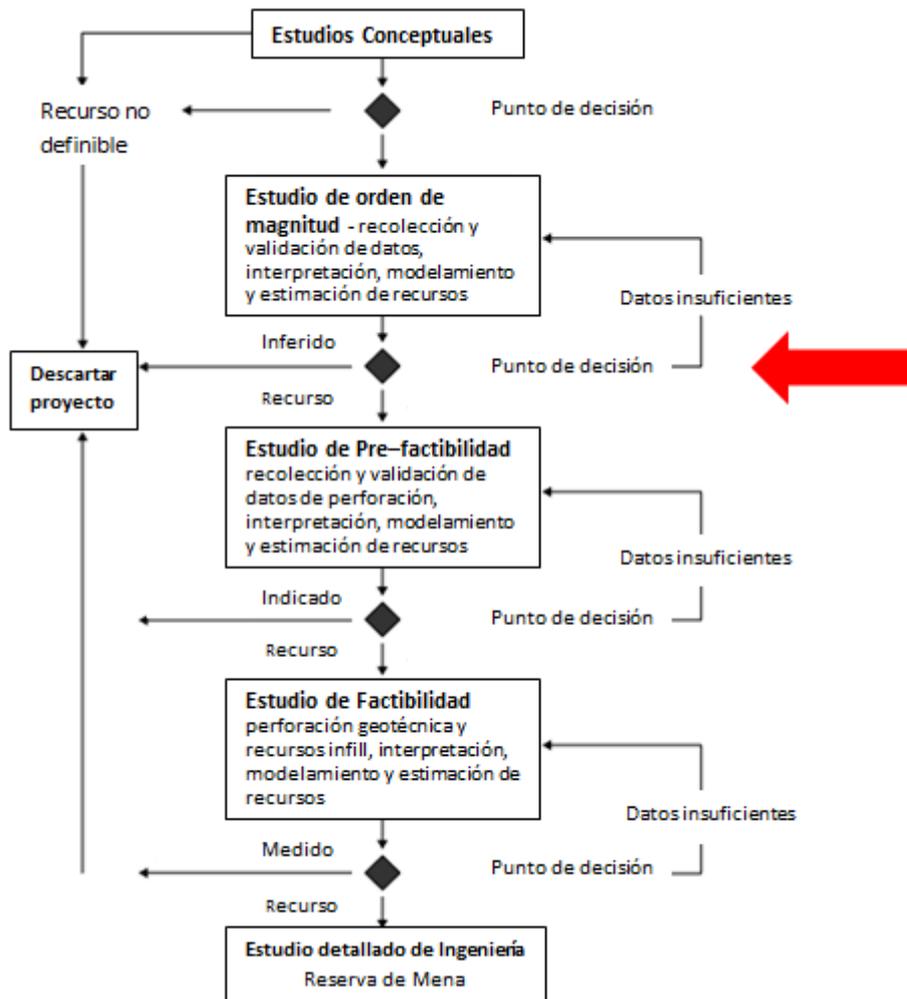


Figura 30. Muestra la distribución de los estudios para evaluación de proyectos, la flecha roja indica el punto de decisión que corresponde, modificado de Moon et al. (2006)

El mapeo geológico y el muestreo de rocas permitieron aclarar algunas hipótesis que se habían interpretado en las etapas anteriores.

En la Zona 4, en la cual se había interpretado una posible estructura con dirección NO-SE, se pudo comprobar que se corresponde con un contacto litológico, entre el UFE y BIF. No se apreciaron indicios significativos de mineralización. Existen muestreos geoquímicos de rocas para esta zona, los que muestran anomalías bajas.

La Zona 3, en la cual se había interpretado una posible continuidad de la Mina Polvorín, se vio que corresponde a un curso de agua intermitente con escasos afloramientos la cual no mostró indicios de mineralización. Hacia el norte de esta zona se reconoció una veta de cuarzo, la cual fue muestreada y arrojó valores favorables. No se descarta la zona, pero es necesario realizar otros trabajos como trincheras o pozos exploratorios, ya que los existentes muestran poca continuidad.

En la Zona 2, en la cual se había interpretado una posible estructura con dirección NE, se pudo medir orientación preferencial de los minerales y diaclasas con dirección N-NE y también NO. Se reconocen afloramientos de UFE con venillas de cuarzo y presencia de pirita. Se consideró para esta zona planificar trabajos de muestreos y trincheras para cubrir las áreas en que no existen datos.

En la Zona 1, se pudo comprobar en afloramientos la dirección NO-SE, aproximadamente N320-N140 que se había interpretado. Se reconoció UFE con alteración potásica, silicificación y oxidación. Además, se constató la presencia de pirita en veta de cuarzo y en algunas ocasiones diseminada en la roca. Esta veta fue también muestreada y arrojó valores favorables.

Para esta zona se consideró que los datos recabados en los trabajos exploratorios previos de trincheras, pozos, suelos y los recabados en el muestreo de roca y mapeo geológico, son suficientes para inferir la presencia de mineralización aurífera, ya que todos estos muestran anomalías positivas, permitiendo realizar un modelo superficial. En este caso, tomando como referencia el código JORC 2012 (figura 7) estaríamos ante un recurso inferido, por lo tanto se consideró necesario realizar una campaña de perforación, buscando confirmar y ampliar la información, lo cual permita pasar a un recurso indicado.

### 4.3. Campaña de perforación

En esta instancia se presenta la planificación, técnica de muestreo y resultados de las perforaciones realizadas. Se muestra el avance de fase dentro de la campaña exploratoria (figura 31).

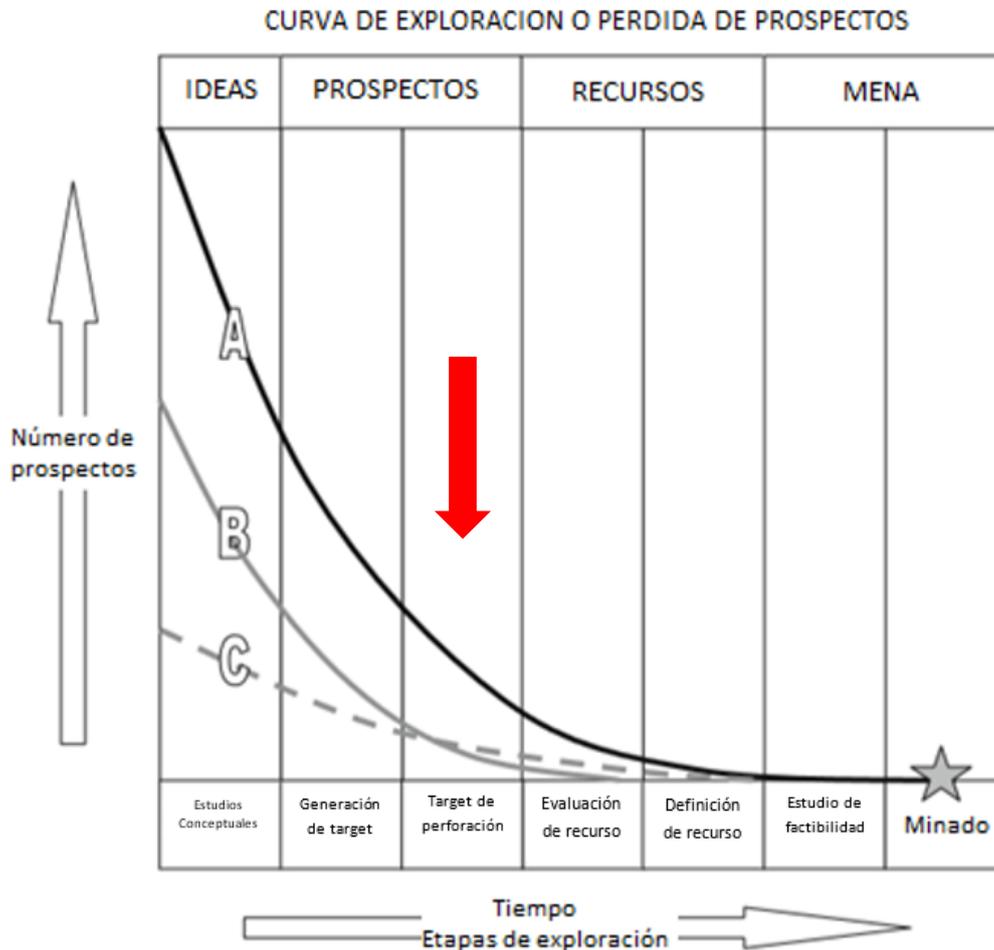


Figura 31. Curva que muestra la metodología de exploración con sus respectivas fases. La flecha roja indica etapa exploratoria (modificado de Marjoribanks, 2010).

Para definir la campaña de perforación se realizó un modelo superficial de la posible zona mineralizada, utilizando toda la información de los trabajos anteriores. Se asumió un rumbo de N140 y un buzamiento de alto ángulo hacia el SO, determinado por trincheras y pozos previos, medidas que se tomaron en afloramientos y minas cercanas a la zona.

Se utilizó una estrategia similar a la planteada por Oyarzun (2011) en la figura 33, en la cual se trazan líneas paralelas entre sí, perpendiculares a la anomalía, la cual va a tener el rumbo de los pozos. Se comienza con los pozos centrales, correspondiente con la

numeración de la figura 33, y a medida que los resultados son optimistas se continúa en lateral y hacia atrás, para buscar la mineralización en profundidad.

En este caso se plantearon 8 secciones de pozos, las cuales fueron numeradas del 1 al 7 y por último se agregó una sección 2B intermedia (figura 34). La separación es de 35 metros por sección y se realizaron entre 2 y 3 pozos en cada una. El rumbo de los pozos fue de N50 y el buzamiento de  $-63^\circ$  (mínimo permitido por la máquina perforadora que se utilizó).

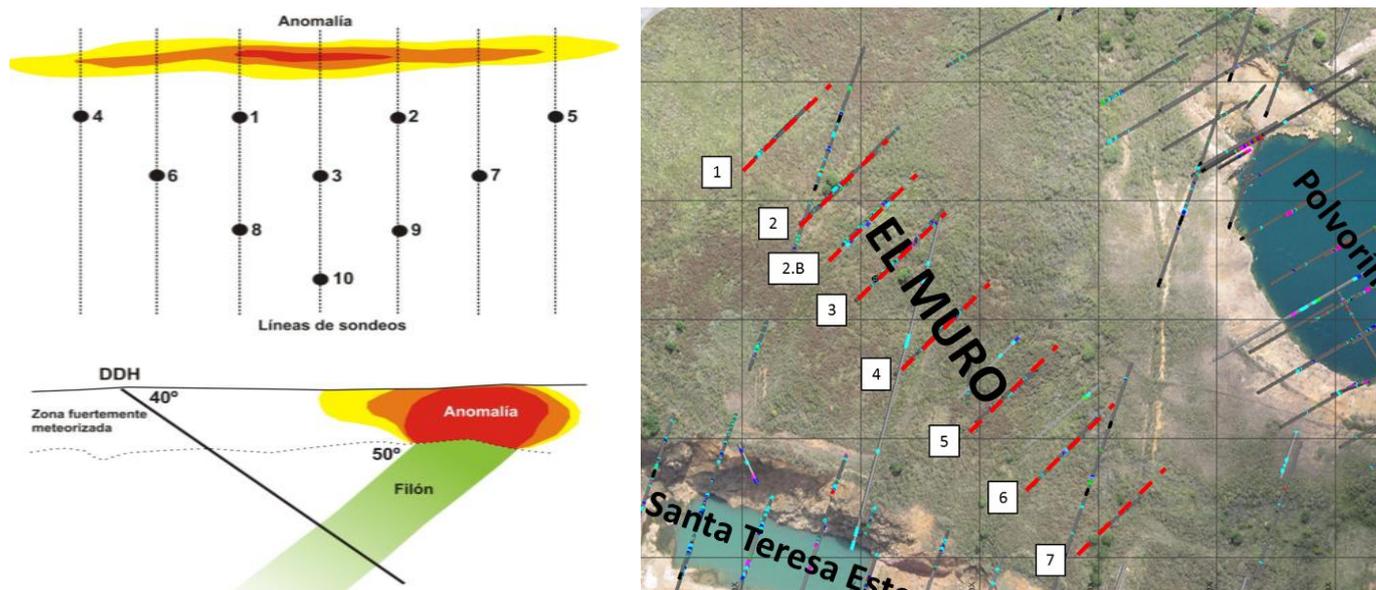


Figura 32. A la izquierda representación esquemática de la estrategia para la realización de las perforaciones, Oyarzun 2011. A la derecha figura 33, donde se puede apreciar la ubicación de las secciones de los pozos.

#### 4.3.1. Técnica de muestreo

En el laboratorio interno de la minera se analizó el contenido de oro por cada metro perforado. Como se mencionó anteriormente se utilizó una perforadora RC para los sondeos. El modelo fue DM 45, con un diámetro de perforación de 5 y  $\frac{1}{2}$  pulgadas, lo que genera un peso de muestra aproximado de 40 kg por metro. Esto es demasiado según lo requerido por el laboratorio, por lo tanto se realizó cuarteo (figura 43 A), generando una muestra con un peso aproximado de 10 kg. El resto de la muestra es etiquetado y guardado como respaldo, en cumplimiento con normativas vigentes y para su eventual uso en caso de inconvenientes con la muestra enviada a análisis. También se preparan cajas donde se coloca en compartimientos individuales una porción de *cutting* extraído en cada muestra (figura 34 B), para luego realizar una descripción litológica de las rocas presentes.

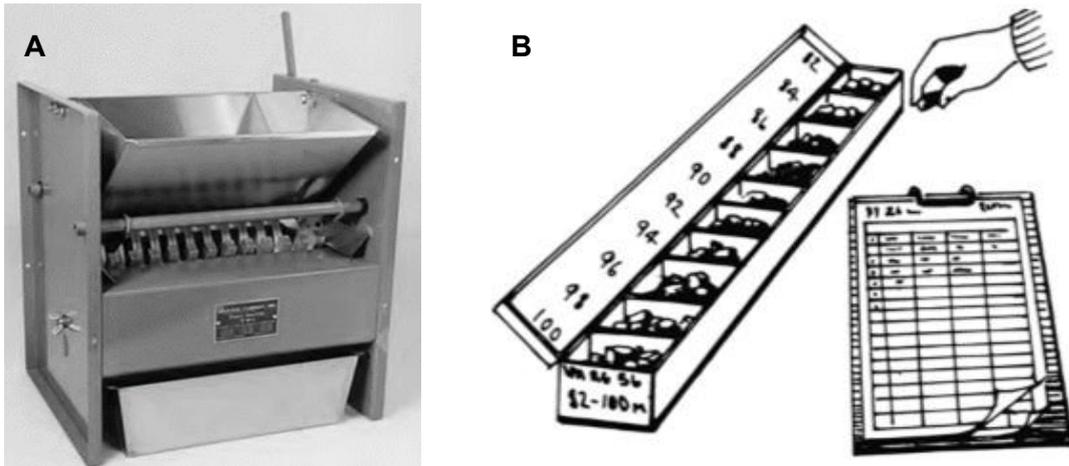


Figura 34. A) Cuarteador utilizado en la perforación. B) Cajas con compartimientos donde se coloca *cutting* por cada muestra extraída. (Marjoribanks 2010).

### Control de calidad para el muestreo de RC

En el marco del control de calidad del muestreo, se insertaron muestras de control en todos los pozos realizados, utilizando estándares, duplicados y muestras blancas. La frecuencia fue basada en la tabla 1, tomada de Armando Simón, 2007. Los resultados obtenidos en todas las muestras de control ingresadas no mostraron desviaciones, dando todas dentro del error aceptable.

### Frecuencias recomendadas de muestras y operaciones de control

Tipo de Muestra de Control	Frecuencia de Inserción
Muestras gemelas	1 en 30 a 50
Duplicados gruesos	1 en 30 a 50
Blancos gruesos	1 en 30 a 50
Duplicados de pulpa	1 en 30 a 50
Estándar bajo	1 en 20, alternadamente
Estándar medio	
Estándar alto	
Blancos finos	1 en 30 a 50
Duplicados externos	1 en 20
Chequeos granulométricos	1 en 10, en los lotes de control

Tabla 1. Cuadro que muestra la frecuencia recomendada para inserción de muestras de control, Simón (2007).

### 4.3.2. Resultados de perforaciones

Se realizaron 20 sondajes RC (1099 m) cubriendo un sector de aproximadamente 200 m de longitud (sentido NO – SE) hasta una profundidad aproximada de 50 m. En la figura 35 se muestran los resultados de tenor de oro obtenidos del laboratorio.

Para esto se ingresó la traza del pozo al programa Micromine, con su collar tomado con GPS diferencial y proyectado con su rumbo y buzamiento reales, medidos en el orificio resultante de cada pozo. Se ingresó el valor de tenor de oro de cada muestra a su correspondiente profundidad. Para una mejor visualización, se creó una escala de diferentes colores que representan diferentes rangos de tenor de oro, representada en partes por billón (ppb) (figura 35).

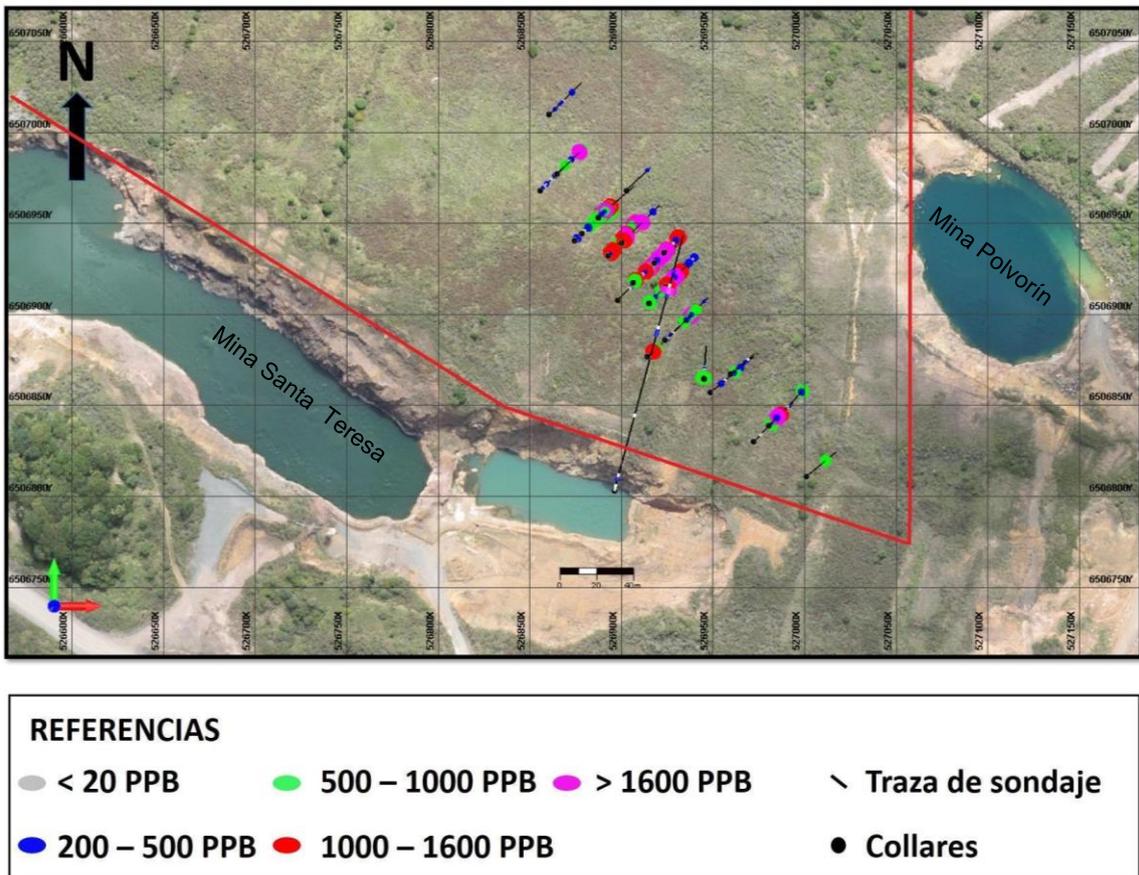


Figura 35. Imagen satelital con los resultados recibidos del laboratorio. Corresponde a tenor de oro (ppb) en la traza de las perforaciones.

### 4.3.3. Descripción litológica de rock chip

Se realizó descripción de todas las cajas de rock chip, describiendo principalmente litología, alteración y presencia de sulfuros. Las litologías descritas fueron similares a las reconocidas en campo, por lo que se decidió mantener los códigos utilizados en el mapa geológico, lo que sí se apreció fue variedad en alteraciones hidrotermales.

El depósito presenta una intercalación de rocas félsicas (UFE) y rocas básicas (IMU) (figura 36). Las UFE tienen un tamaño de grano medio, compuestas principalmente por feldespato potásico y cuarzo. En ocasiones se aprecia presencia de pirita en venillas de cuarzo y diseminadas. La alteración se da principalmente en las proximidades de contacto con otra litología, y corresponde a alteración hidrotermal potásica, silícea y oxidación (figura 37).

Las IMU tienen un tamaño de grano fino a medio, compuestas principalmente por anfíbol, plagioclasa, clorita. Presentan pirita diseminada y asociada a venillas, la alteración principal es clorita pervasiva y subordinadamente carbonática, sericita y silícea (figura 38).

Se reconoció otra unidad nombrada BX (brecha), la cual tiene un tamaño de grano fino. Presenta una fuerte oxidación pervasiva (figura 39 y 40), en ocasiones con presencia de arcilla y también de pirita oxidada diseminada, cabe señalar que a mayor profundidad la oxidación disminuye, y la pirita se encuentra más asociada al cuarzo.



Figura 36. Pozo PORC17-67 Intercalación UFE y IMU



Figura 37. Pozo PORC17-69 UFE con alteración potásica y sílicea



Figura 38. Pozo PORC17-76 IMU con alteración clorita, sericita y sílicea



Figura 39. Pozo PORC17-75 BX con oxidación



Figura 40. Pozo PORC17-83 BX con oxidación

#### 4.4. Evaluación y definición de recursos

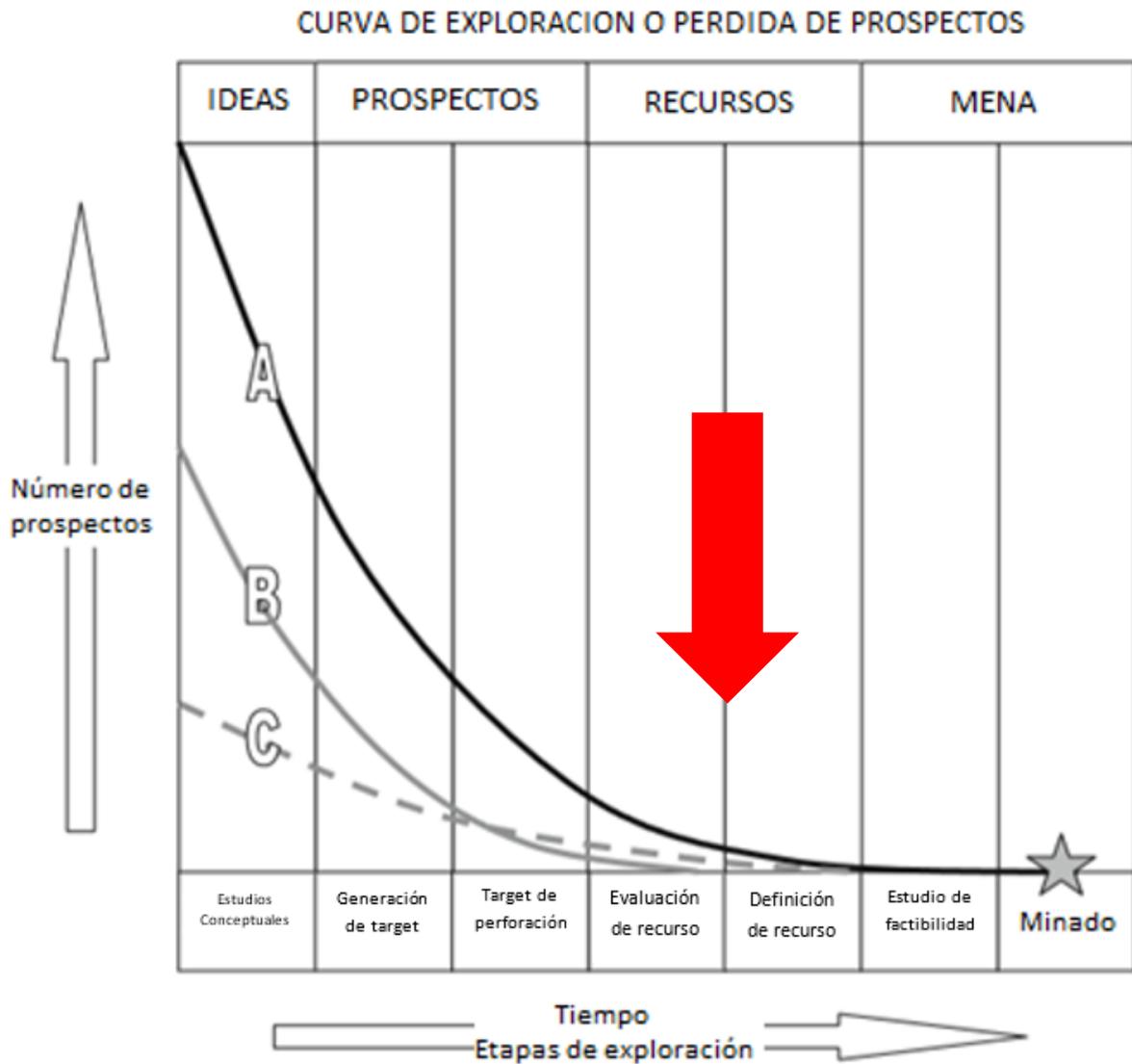


Figura 41. Curva que muestra la metodología de exploración con sus respectivas fases. La flecha roja indica etapa exploratoria (modificado de Marjoribanks, 2010).

##### 4.4.1. Modelo 3D de la zona mineralizada

Para realizar el modelo se realizaron secciones con el rumbo de los pozos (figura 42). Esto permitió la visualización de los tenores de oro, cambios litológicos, alteraciones y presencia de sulfuros para cada metro de perforación. En las secciones que hay presencia de más de un pozo se pudo relacionar las litologías con el tenor de oro, permitiendo agruparlas y trazar polígonos que agrupan similitudes en dichas características (figura 43).

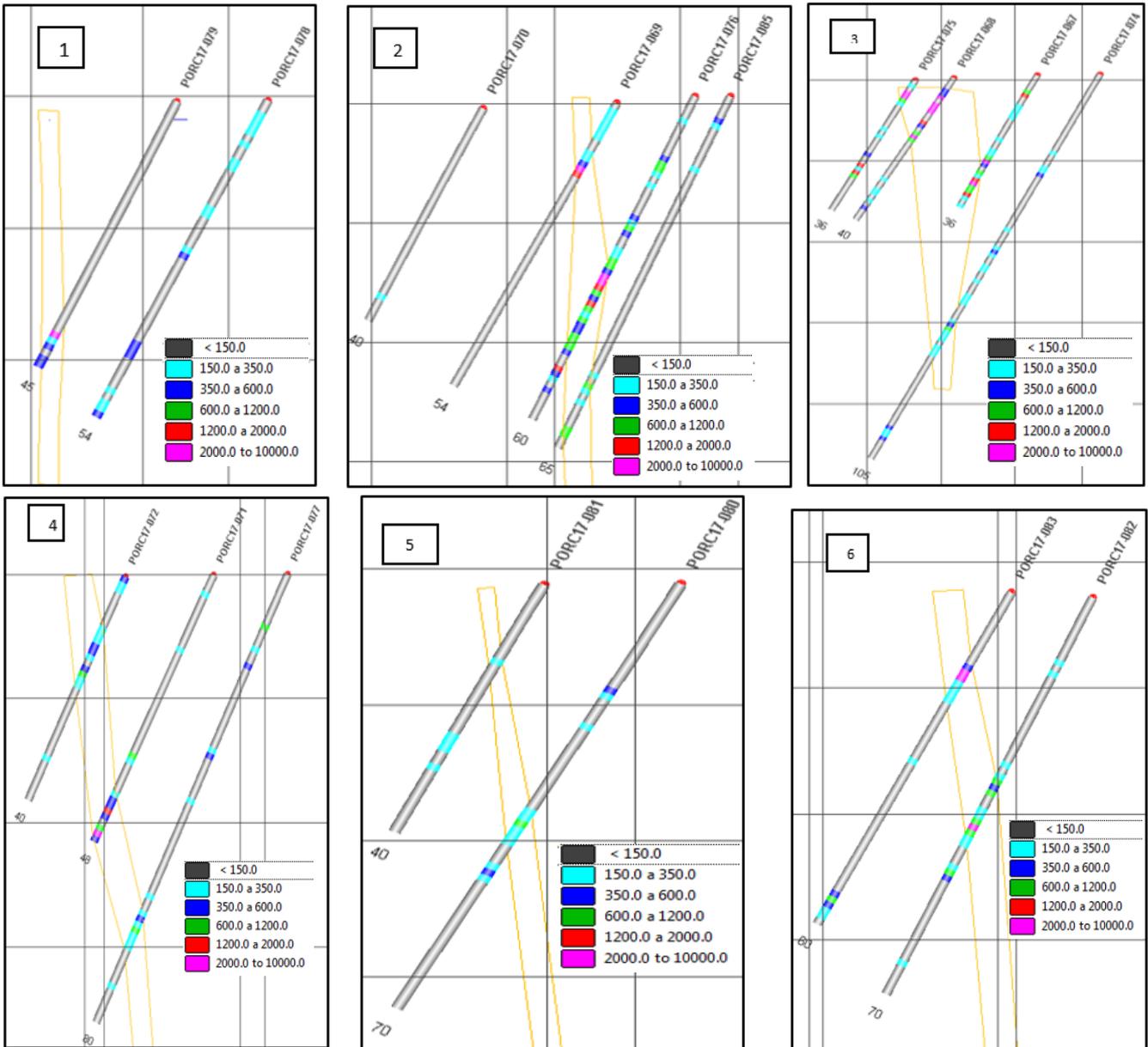


Figura 42. Secciones de perforaciones mostrando la distribución de los tenores de oro. Las escalas de colores están en ppb. En amarillo se representa estructura mineralizada inferida.

La primera sección perforada fue la 3, representada por los pozos PORC17-067 y PORC17-068. En este último aparece en los primeros metros una anomalía de oro, asociada a la BX, en cambio en el primer sondeo la mineralización es intersectada al final, y con la descripción litológica se pudo comprobar que terminó en una litología muy similar, lo que permite inferir que en este pozo la estructura no fue cortada en su totalidad. La siguiente sección perforada fue la 2, representada por los pozos PORC17-069 y PORC17-070. En el primer sondeo la mineralización es intersectada en los

primeros metros, también asociada a la BX, en cambio en el segundo sondeo esta litología no aparece y tampoco anomalía de oro. Esto permitió intuir que la estructura queda por detrás de dicho sondeo (figura 42 2), y al relacionarla con la primera sección perforada se pudo trazar un rumbo probable para dicha litología, lo que fue de gran importancia para la planificación de las siguientes perforaciones laterales y en profundidad.

Tras la realización de todos los sondeos, se correlacionó la descripción litológica obtenida mediante *rock chip* con los resultados de laboratorio. Esta integración permitió identificar que la anomalía principal (con mayor espesor y tenor de oro) se asocia a BX con evidencias de oxidación, mientras que la secundaria se localiza principalmente en los contactos litológicos entre unidades de UFE e IMU. Asimismo, se observó que dicha estructura presenta un ancho variable y una orientación subvertical, con una leve inclinación hacia el S-SO.

En la zona central, correspondiente a las secciones 2 y 3, la estructura alcanza su mayor espesor, destacándose en el pozo PORC17\_68, donde se registra un intervalo de aproximadamente 10 metros con valores anómalos superiores a 1 g/ton de oro. Hacia las secciones laterales, si bien se confirma la continuidad y la repetición litológica, se evidencia un debilitamiento en cuanto a potencia y ley de mineralización.

En profundidad, la estructura presenta sus mejores espesores y tenores entre los 10 y 40 m, reduciéndose progresivamente a mayor profundidad. En la sección 1, ubicada hacia el noroeste, la estructura no se manifiesta con el mismo rumbo que en las secciones anteriores, lo cual sugiere una posible dislocación o la presencia de una estructura secundaria. Para confirmar esta hipótesis, será necesario ejecutar nuevos sondeos exploratorios.

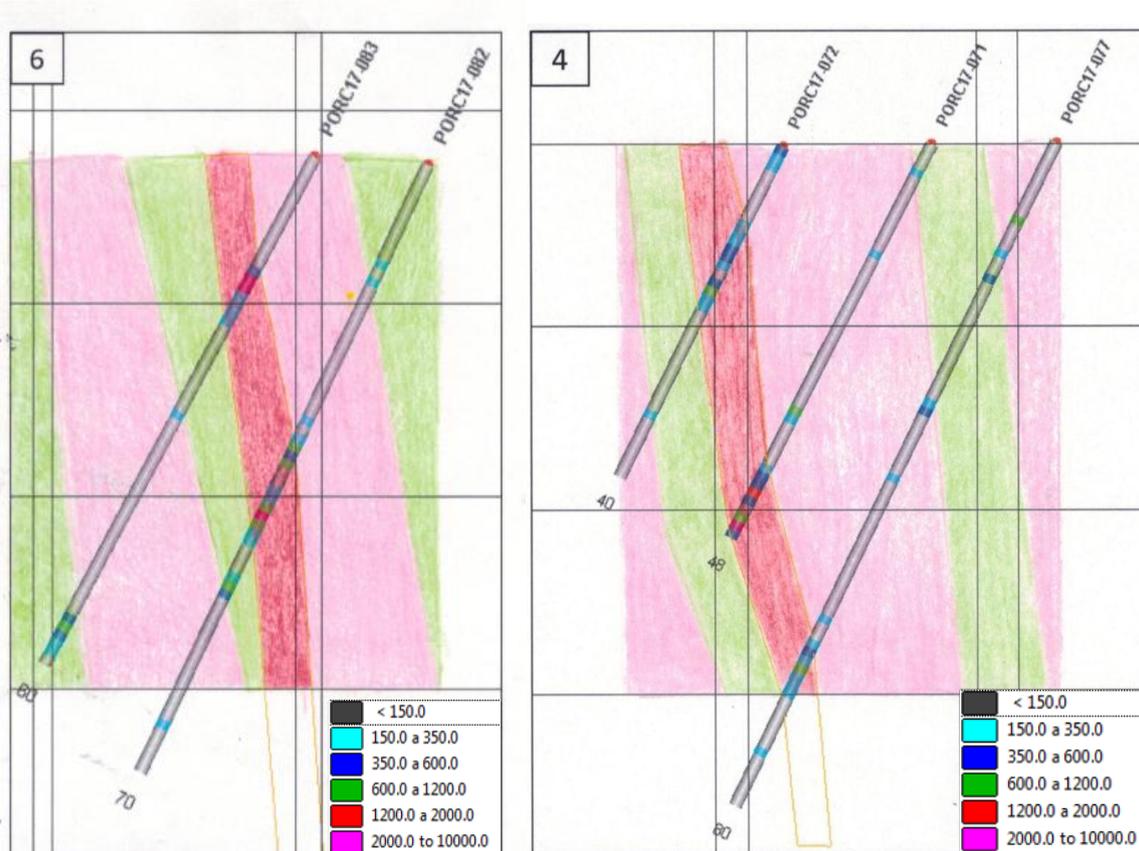


Figura 43. Sección 6 y 4 donde se relacionan las litologías descritas en las muestras de perforación con análisis químicos de oro obtenidos, la escala de colores está en ppb. En verde se representa el IMU, rosado UFE y rojo BX.

La función “Build Wireframe” del software Micromine permitió la unión de los polígonos realizados en cada sección, con lo que fue posible generar un modelo en 3 dimensiones del cuerpo mineralizado (figura 44). Además se utilizaron los datos recabados de las perforaciones previas para ajustar con más detalle el espesor y la ley de la estructura. Los límites fueron establecidos con los sondeos de las secciones laterales, y la profundidad de 50 metros.

La realización del modelo en tres dimensiones (3D) permitió la visualización con más claridad de la estructura, además permitió la obtención del volumen del cuerpo mineralizado por intermedio del software. Conjuntamente se obtuvo una ley media, la cual fue calculada partiendo de cada sondeo, pasando por cada sección e interpolando con el resto de las secciones. Con estos parámetros es posible encontrar un valor estimado de la cantidad de onzas de oro que se pueden obtener de dicha estructura.

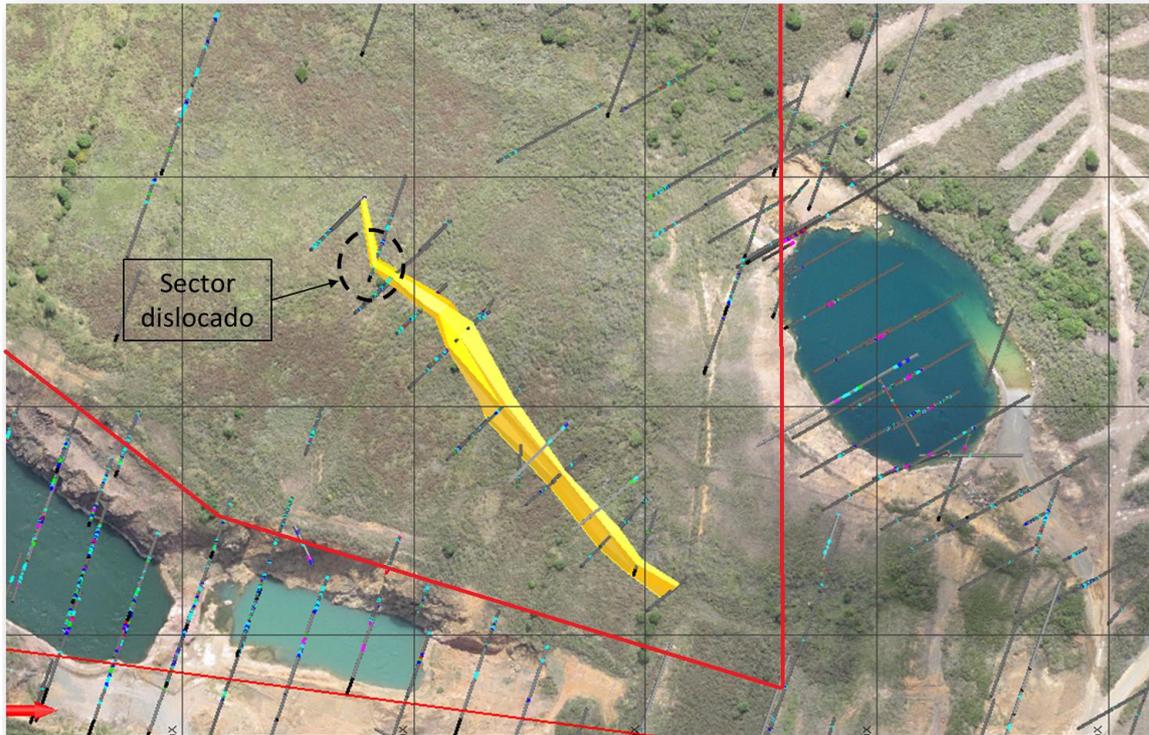


Figura 44. Imagen satelital del sector SE, donde se puede apreciar el modelo en 3 dimensiones generado por la unión de las secciones de perforación.

El modelo 3D realizado en el software generó la determinación del volumen para la zona mineralizada, además permitió el cálculo de una ley media de oro, estableciendo la definición un potencial geológico, con una ley estimada 1,1 g/t – 1,0 g/t. Según el código JORC y los estudios propuestos por Moon et al. (2006) para las campañas de exploración, estaríamos ante un recurso indicado. Esto se debe a que faltan técnicas de exploración que permitieran hacer estudios para medir con mayor certeza el recurso. Por ejemplo, si se realizaran perforaciones diamantinas, los testigos permitirían describir y medir con mayor certeza la zona mineralizada, además de realizar ensayos geotécnicos para calcular el peso específico y determinar la masa mineral real, permitiendo establecer una ley con mayor confianza que permita llegar a un recurso medido, y luego de un estudio de factibilidad se puedan determinar las reservas probadas.

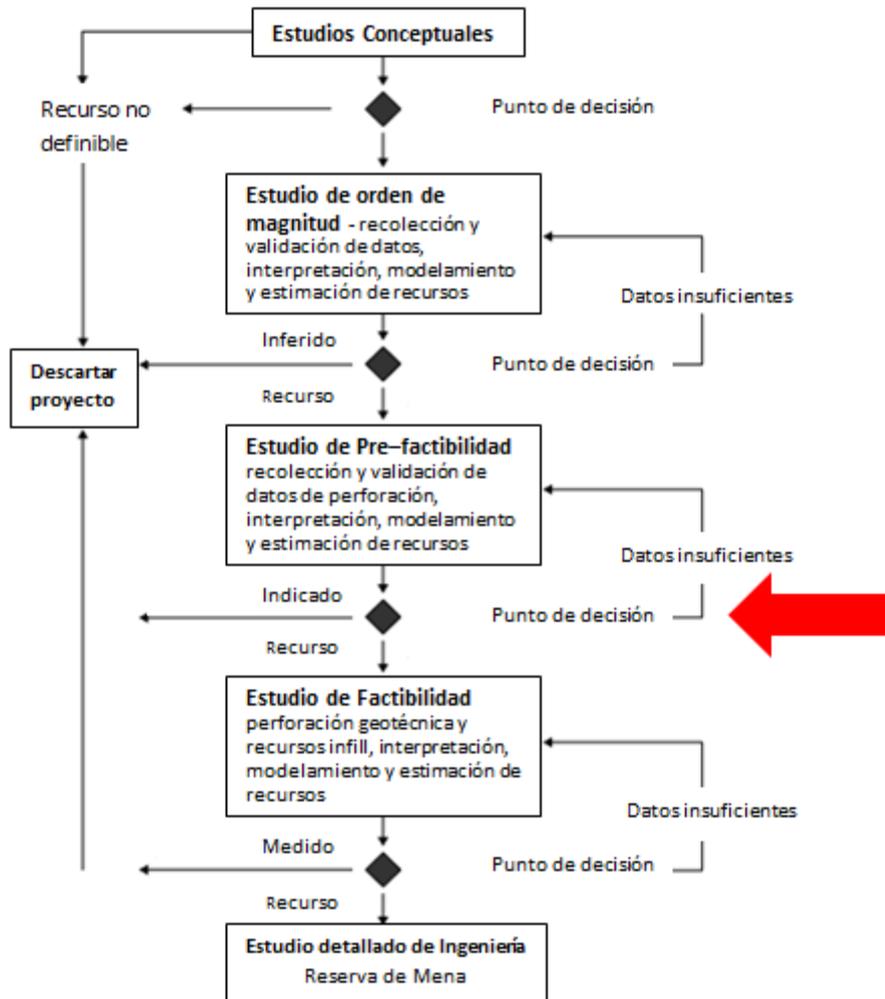


Figura 45. Muestra la distribución de los estudios para evaluación de proyectos, la flecha roja indica el punto de decisión que corresponde, modificado de Moon et al. (2006)

#### 4.4.2. Prueba de Minado

Como se mencionó anteriormente, la empresa contaba con la necesidad de aumentar rápidamente su stock de mineral, por este motivo no se pudo culminar la campaña de exploración. Se consideró que los datos generados eran aceptables para realizar una prueba de minado. Esta consistió en la extracción de la cobertura vegetal y utilizando el modelo generado se realizó una malla de muestreo. Se utilizó una perforadora modelo Tamrock Pantera 500, la cual permite la recuperación de cutting por inyección de aire, hasta una profundidad de 1 o 2 metros, dependiendo del espesor del banco requerido. Ante resultados positivos en el muestreo, se comenzó con la extracción de material mineralizado para su procesamiento.

Durante la prueba de minado se pudo acceder a obtener mayor información y complementar con la generada en el modelo geológico, resultado de la exploración. Durante la explotación de la mina, y a medida que se iba extrayendo material, se pudo realizar un mapeo de los taludes. Esto permitió comprobar la intercalación de rocas félsicas y máficas que se habían descrito en los sondeos. A su vez se pudo visualizar que es una zona estructuralmente compleja, donde existen muchas fallas principalmente con dirección NO pero también NE, que desplazan los bloques.

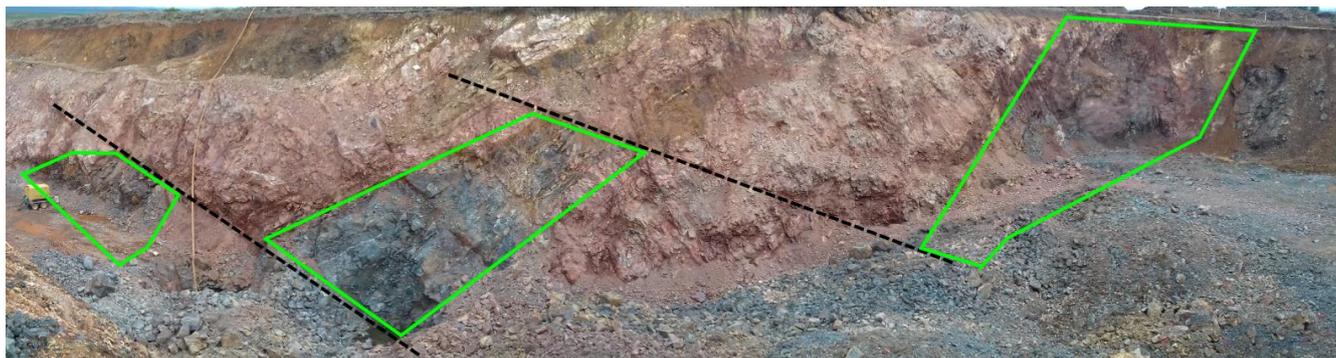


Figura 46. Fotografía panorámica del talud sur de la Mina El Muro durante su explotación, se puede apreciar la intercalación de rocas félsicas y máficas.

Estos trabajos permitieron continuar con la exploración hacia el norte del modelo generado, donde se había interpretado un cambio de rumbo en el mismo. Para la zona de prioridad 2, donde se había propuesto realizar extensión de muestreos, directamente se decidió realizar perforaciones y se comprobó otro cuerpo mineralizado, con similares características, pero desplazada hacia el oeste, con un rumbo similar NO pero más próximo a una N - S. Para esta mineralización secundaria también se realizó una prueba de minado, igual a la descrita anteriormente, y se extrajo mineralización aurífera hasta que fue económicamente rentable.

En la imagen satelital de la figura 47 se observa la situación actual de la zona. Se puede apreciar que los trabajos exploratorios realizados permitieron la explotación de dos minas. La primera (sector SE) corresponde a la descrita en este trabajo y la otra surge de una nueva campaña de perforaciones, resultado del trabajo geológico del mapeo de taludes en mina, buscando la posible dislocación mencionada en el modelo generado (figura 44). No se contó con acceso a los datos de producción de oro extraído durante la etapa de minado, lo que impidió realizar una comparación directa con los valores estimados en el modelo generado en este trabajo.



Figura 47. Imagen satelital de la situación actual del área de estudio, en rojo se marca el área del prospecto, se puede apreciar la distribución de las minas explotadas.

#### 4.4.3. Descripción litológica de las rocas de mena

La prueba de minado generó la posibilidad de acceder a la obtención de muestras superficiales en las proximidades del área definida en el modelo geológico, lo que permitió la descripción con más detalle de la zona mineralizada, la cual había sido descrita como BX en los *cuttings* de perforación. Se reconocieron dos tipos de litologías principales para la zona mineralizada (figuras 48 y 50), las cuales fueron referenciadas como EM3 y EM4 para su diferenciación en la descripción.

La primera, referenciada como EM3, corresponde a una roca de color rojizo, inequigranular, de tamaño de grano grueso a fino, con una disposición general de los minerales en zonas o bandas paralelas. Se reconoce la presencia de muchas venas de cuarzo y bandas ricas en pirita, con alteración supergénica, representada por argilización y por la presencia de estructuras tipo boxworks regulares y óxidos e hidróxidos de hierro.

En estudio petrográfico a luz transmitida se pudo observar que la roca está compuesta en porcentajes estimados de: 40% cuarzo, 30% opacos, 20% feldespato alcalino y 10% plagioclasa. Los opacos se encuentran diseminados, pero principalmente agrupados alrededor de venas o fracturas. Son de tamaño variado, van del orden de 1 milímetro a micras, presentan hábito eudral y en ocasiones se observan boxworks rodeado por

óxidos e hidróxidos de hierro. El cuarzo, el feldespato y la plagioclasa se presentan en cristales gruesos, euhedrales, que en ocasiones exhiben hábito hexagonal y uniones triples. Además, el cuarzo también aparecer en granos más finos formando venas.



Figura 48. Muestra de mano de roca tomada de la zona mineralizada, referenciada como EM3, se puede apreciar bandas ricas en cuarzo y óxidos. Además hay presencia de venillas de cuarzo recortadas por fracturas con boxworks, óxidos e hidróxidos de hierro.

El estudio petrográfico en luz reflejada permitió identificar que los minerales opacos presentes corresponden principalmente a pirita, la cual se encuentra en distintos grados de alteración. En varias áreas, la pirita se conserva en buen estado, con escasos signos de alteración, y se presenta asociada principalmente a venas de cuarzo (Figura 49C). En contraste, en zonas vinculadas a pequeñas fracturas que atraviesan toda la roca, se observaron halos de oxidación alrededor de cristales de pirita, evidenciando procesos de alteración más avanzados (Figura 49E). Esta pirita alterada muestra bordes corroídos, texturas porosas y estructuras tipo *boxwork*, indicadores claros de oxidación. Las fracturas habrían actuado como vías de circulación de fluidos oxidantes que provocaron el reemplazo parcial de la pirita por una variedad de óxidos e hidróxidos de hierro, proceso conocido como limonitización. Entre los productos de alteración identificados se encuentran goethita y lepidocrocita, presentes como pequeñas acumulaciones internas al cristal original de pirita, en forma de “islas”, o como masas botrioidales y agregados fibrosos que rellenan fracturas y reemplazan las zonas más afectadas. En estas áreas alteradas también se identificaron pequeños granos de oro, del orden de micras, distribuidos de manera irregular dentro de los óxidos de hierro que reemplazaron a la pirita (Figura 49D).

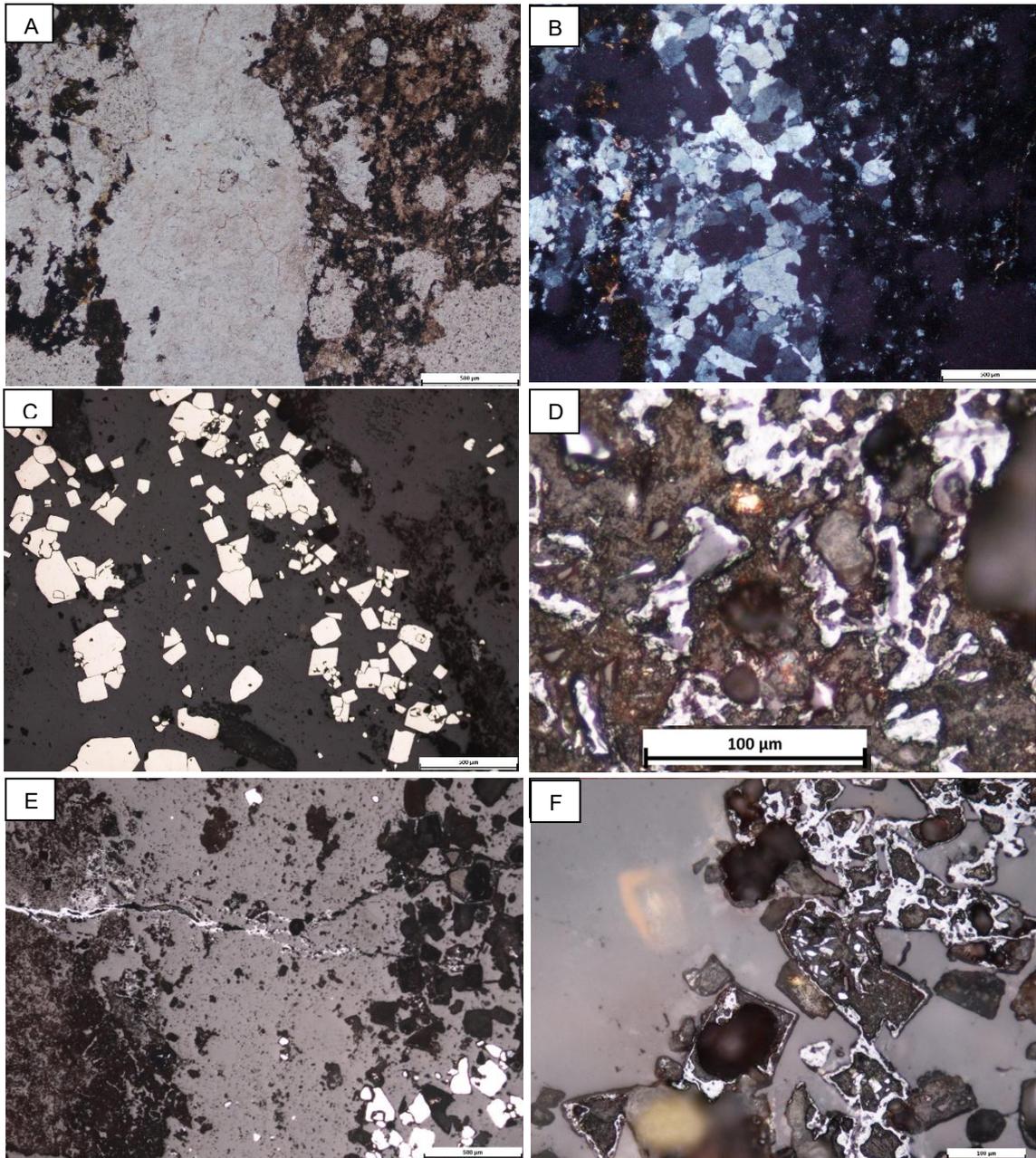


Figura 49. Fotomicrografías correspondiente a imágenes petrográficas de muestra EM3. A) Vena de cuarzo rodeada de óxidos e hidróxidos de hierro. B) Misma vista que en A pero con PC. Corresponden a petrografía de luz transmitida, la barra de escala es 500  $\mu\text{m}$ . C) Acumulación de pirita asociada a vena de cuarzo, luz reflejada, barra de escala es 500  $\mu\text{m}$ . D) Pirita parcialmente oxidada, además en el centro se aprecia un pequeño cristal de oro. E) Se puede apreciar vena de cuarzo, asociada a pirita, las cuales están recortadas por fracturas con óxidos e hidróxidos de hierro y generan un halo de alteración en las piritas. Luz reflejada con barra de escala de 500  $\mu\text{m}$ . F) Piritas interconectadas mostrando procesos de oxidación, con goethita y lepidocrocita. Barra de escala de 100  $\mu\text{m}$ .

La otra litología (figura 50), referenciada como EM4, corresponde a una roca de color blanca con zonas de color rojizo, granoblástica, equigranular, de tamaño de grano medio a fino, compuesta en porcentajes estimados de: 40% cuarzo, 30% plagioclasa, 20% feldespato y 10% opacos. En muestra de mano se puede observar que posee muchas

fracturas con presencia de opacos que sufrieron procesos de oxidación, que le otorgan el color rojizo.



Figura 50. Muestra de mano de roca tomada de la zona mineralizada, referenciada como EM4.

En estudio petrográfico a luz transmitida se pudo observar que los cristales de cuarzo son anhedrales y en ocasiones con bordes lobulados, reflejando condiciones de recristalización dinámica por migración de bordes de grano. Se reconocen cristales de mayor tamaño de plagioclasa y feldespato con presencia de minerales pequeños microcristalinos de sericita y epidoto, marcando procesos de sericitización y saussuritización (figura 51 C y D).

En estudio petrográfico a luz reflejada se pudo observar la presencia piritas diseminada y en ocasiones asociada a pequeñas venillas compuesta por cuarzo, óxidos e hidróxidos de hierro. Las piritas sufrieron un proceso de oxidación similar al descrito para la muestra anterior EM3, siendo reemplazada por goethita. Se pudo apreciar que hay fracturas donde las piritas se encuentran totalmente oxidadas y lixiviadas, generando boxworks, y otras fracturas donde la piritas está parcialmente oxidada (figura 51 E y F).

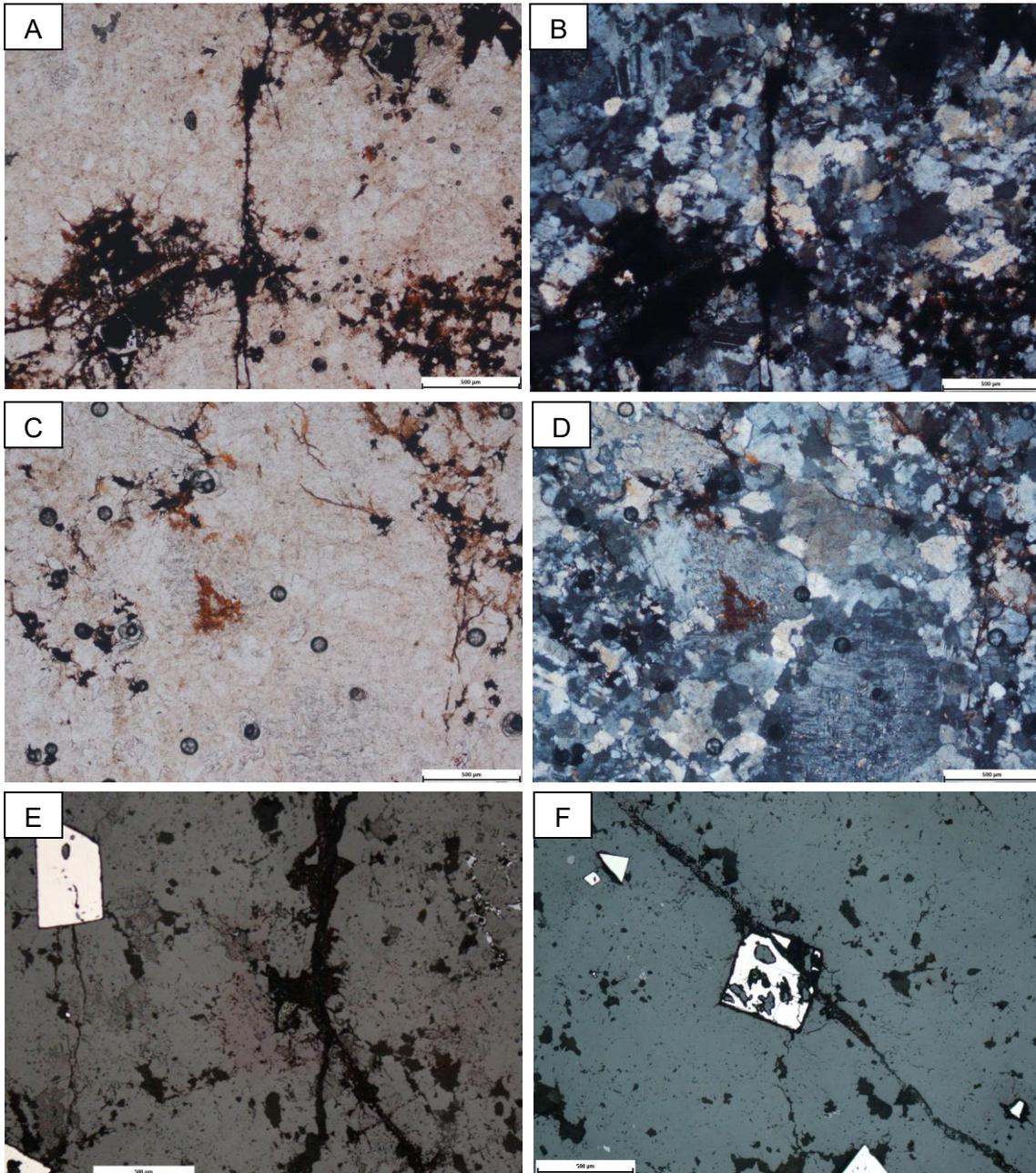


Figura 51. Fotomicrografías correspondiente a imágenes petrográficas de muestra EM4. A) Se aprecia roca compuesta por cuarzo, plagioclasas y feldespato con muchas fracturas con opacos oxidados. B) Misma vista que en A, pero con PC. Se puede apreciar con mayor claridad los bordes lobulados entre los cristales equigranulares. Luz transmitida con barra de escala de 500  $\mu\text{m}$ . C) cristales de mayor tamaño de plagioclasas y feldespato con presencia de minerales microcristalinos de sericita y epidota, marcando procesos de reemplazo. D) Misma vista que en A, pero con PC. Luz transmitida con barra de escala de 500  $\mu\text{m}$ . E) Se puede apreciar fracturas donde aparece pirita y otras fracturas donde las piritas fueron totalmente oxidadas. F) Pirita recortada por fractura donde se aprecia que está parcialmente oxidada. Luz reflejada con barra de escala de 500  $\mu\text{m}$ .

## 5. Discusión

### *Interpretación litológica de las muestras estudiadas.*

Se analizaron cuatro muestras en lámina delgada, probetas y muestras de mano, lo que permitió describir las rocas más representativas del área de estudio, para realizar interpretaciones sobre las características del yacimiento.

El UFE es la litología más extendida en el área. En el estudio petrográfico se pudo apreciar que corresponde a una roca de composición félsica con evidencias de deformación y alteración. La presencia de ribbons de cuarzo, junto con bordes lobulados, rotación y migración de bordes de grano, indica que la roca ha experimentado recristalización dinámica, lo que sugiere que estuvo sometida a altas temperaturas y posiblemente presiones, en condiciones de medio a alto grado de metamorfismo (Passchier, 2005). La presencia de sericita, como producto de alteración del feldespato, sugiere que ha habido procesos de alteración hidrotermal. Además, la presencia de opacos con oxidación también puede reflejar procesos de alteración hidrotermal, así como también por procesos supergénicos.

Para la litología descrita como IMU se reconocieron más que nada evidencias de alteración hidrotermal. Según Pirijano (2009), las venillas de cuarzo y/o carbonato que atraviesan la roca son indicativas de fluidos hidrotermales que circularon a través de fracturas, generando alteraciones hidrotermales, reflejadas en cambios texturales y mineralógicos en la roca. Estas venillas pudieron reconocerse en lámina delgada (figura 25), además la presencia de anfíboles que han sido parcialmente reemplazados por clorita y epidoto, junto con la plagioclasa, alterada a sericita y epidoto, también indica que la roca ha experimentado alteración hidrotermal. La presencia de carbonato, plagioclasa, clorita y epidoto es una asociación mineral de alteración hidrotermal en rocas máficas, que varios autores como Pirijano (2009), Thompson y Thompson (1995), etc. reconocen como propilítica. Se reconoció, en bajas concentraciones, la presencia de pirita con evidencia de oxidación.

Como se mencionó anteriormente fueron tomadas dos muestras de la zona mineralizada generada del modelo geológico de las perforaciones, las cuales fueron ilustradas en las figuras 48 y 50 e identificadas como EM3 y EM4. Según las descripciones de muestra

de mano y petrográficas realizadas, se pudieron reconocer bastantes diferencias entre las mismas.

Para la EM3 se reconoce que la muestra está compuesta por bandas o zonas ricas en pirita, óxidos e hidróxidos de hierro y cuarzo. Además se pudieron reconocer cristales de cuarzo y feldespato de grano grueso, euhedrales, hexagonales. Según Taylor (2009), la disposición en capas o bandas debe considerarse seriamente como una posible textura de relleno, además dado que el vacío lleno de fluido ofrece una excelente oportunidad para el crecimiento cristalino sin obstáculos, es muy común que los minerales de relleno de cavidad alcancen buenas formas cristalinas. Esto es especialmente cierto en el caso del cuarzo o feldespato, que probablemente son los minerales más comunes en los sistemas hidrotermales. La formación de venas de cuarzo indica la infiltración de fluidos hidrotermales ricos en sílice y las zonas ricas en pirita sugieren un entorno de mineralización, posiblemente vinculado a un sistema hidrotermal o de vetas metalíferas. Además se pudo comprobar la presencia de fracturas que recortan toda la roca, generando un halo de oxidación bien marcado en las zonas donde hay presencia de pirita (figura 49 E). Esto permite establecer un orden en los procesos de alteración de: silicificación, sulfuración y por último oxidación. En resumen, la roca muestra características de relleno hidrotermal, posiblemente vinculada a un sistema de mineralización con sulfuros que fue expuesto a condiciones de superficie, generando alteración supergénica y estructuras de boxwork típicas de la oxidación de la pirita. La presencia de oro sugiere que durante la oxidación de la pirita, el oro previamente contenido en el sulfuro se liberó.

Para la muestra EM4, se reconocen cristales equigranulares, con bordes lobulados e indicios de migración de bordes de grano. Como se mencionó anteriormente para el UFE, estas características son evidencias de recristalización dinámica, lo que sugiere que la roca estuvo sometida a altas temperaturas, en condiciones de medio a alto grado de metamorfismo. Además la presencia de sericita, epidoto y cuarzo alterando o reemplazando la plagioclasa y feldespato, pueden reflejar procesos de alteración hidrotermal de sericitización, saussuritización y silicificación (Passchier & Trouw, 2005). También la presencia de venillas recortando toda la roca con presencia de pirita, sugiere que la roca ha sido afectada por fluidos hidrotermales, con una posterior alteración supergénica y oxidación de sulfuros (Taylor, 2009). Esta litología es composicionalmente similar al UFE, la cual sufrió un considerable proceso de

hidrotermalismo y provocó la acumulación de sulfuros, con posterior proceso de fracturamiento y oxidación.

### *Correlación de litologías mapeadas con unidades previamente descritas*

Las litologías reconocidas en el área de estudio presentan correlaciones con unidades previamente caracterizadas a escala regional. En este sentido, el UFE y el IMU muestran rasgos metamórficos y composicionales compatibles con los ortogneises granulíticos félsicos y máficos del Complejo Granulítico Valentines–Rivera (Oyhantçabal et al., 2011). Por otra parte, los BIFs se asocian de manera consistente con la Formación Vichadero (Ellis, 1998), aportando un marco estratigráfico reconocido en la región. Finalmente, el granito identificado en el área, cuya respuesta geofísica difiere marcadamente del basamento circundante, se interpreta como un intrusivo granítico, probablemente de edad neoproterozoica (Oyhantçabal et al., 2012), lo que sugiere un evento magmático tardío sobre el basamento de alto grado.

### *Interpretación de génesis del depósito*

Los datos obtenidos del muestreo y descripción de los sondeos permitieron la realización de un modelo geológico, del cual surge que corresponde a una intercalación de rocas félsicas y máficas, afectadas por deformación y alteración hidrotermal. Se pudo apreciar que las anomalías de oro están asociadas a los contactos entre las dos litologías mencionadas, mostrando cambios en la mineralogía y texturas. Además, se pudo observar que la mineralización principal, se encuentra asociada a una litología compuesta principalmente por cuarzo, pirita y óxidos de hierro, formando un cuerpo tabular y discordante con las rocas cajas, lo que sugiere un proceso de formación posterior, clasificándolo como epigenético.

La presencia de oro dentro de piritas oxidadas junto con la existencia de fracturas con halos de oxidación que recortan al resto de los minerales, sugiere un proceso post-deposición, donde la oxidación de los sulfuros permitió la liberación del oro. Este proceso es típico de depósitos sometidos a eventos de oxidación secundaria, lo que podría indicar una posibilidad de enriquecimiento en zonas más superficiales. Esto podría ser un motivo por el cual el modelo generado muestra que a mayor profundidad, hay una disminución en el espesor y ley de oro.

## *Interpretación Estructural*

Los datos estructurales recabados en este trabajo no se consideran suficientes como para llegar a una conclusión sobre la génesis del depósito, pero se realizó una interpretación de la misma, basada en antecedentes, fotointerpretación y mapeo de campo.

Autores como Baker (2006) y Starling (2008), describen que en el sector estudiado se generaron estructuras compresionales con movimiento sinistral durante el Brasiliano temprano, luego reactivación con movimiento dextral que generó estructuras transtensionales durante el Brasiliano tardío.

Observando la formación de fracturas de Riedel (R1 y R2) en un caso de cizallamiento dextral, con similar orientación que la Falla San Gregorio, se puede apreciar que el esfuerzo principal genera compresión en sentido NO-SE, provocando fallas transcurrentes en sentido E-O, fallas inversas en sentido NE-SO y fallas normales en sentido NO-SE (figura 52 A). Estas fallas generan zonas de cierre, representadas por las fallas inversas, y zonas de apertura o extensión representadas por fallas normales (Oyarzun, 2011).

En la figura 52 B se muestra un ejemplo de una zona de cizalla dextral, con similar orientación que la Falla San Gregorio, en donde se representa con rojo las zonas más favorables de apertura y posible emplazamiento de cuerpos mineralizados.

La presencia de inflexiones y saltos a lo largo de una zona de falla promueve la formación de estructuras denominadas “dúplex” o “cola de caballo”. Las rocas que se encuentran dentro de la zona de influencia de una inflexión o salto se pueden fallar progresivamente (fallas menores paralelas a la dirección de la inflexión) generando sistemas imbricados en relación a la falla principal. Por otra parte, en el caso de fallas rectas, la formación de un dúplex puede originarse a través del desarrollo de fracturas de Riedel. Así en los dúplex extensionales asociados a fallas transcurrentes se generan hundimientos, y en las compresionales levantamientos (Oyarzun, 2011).

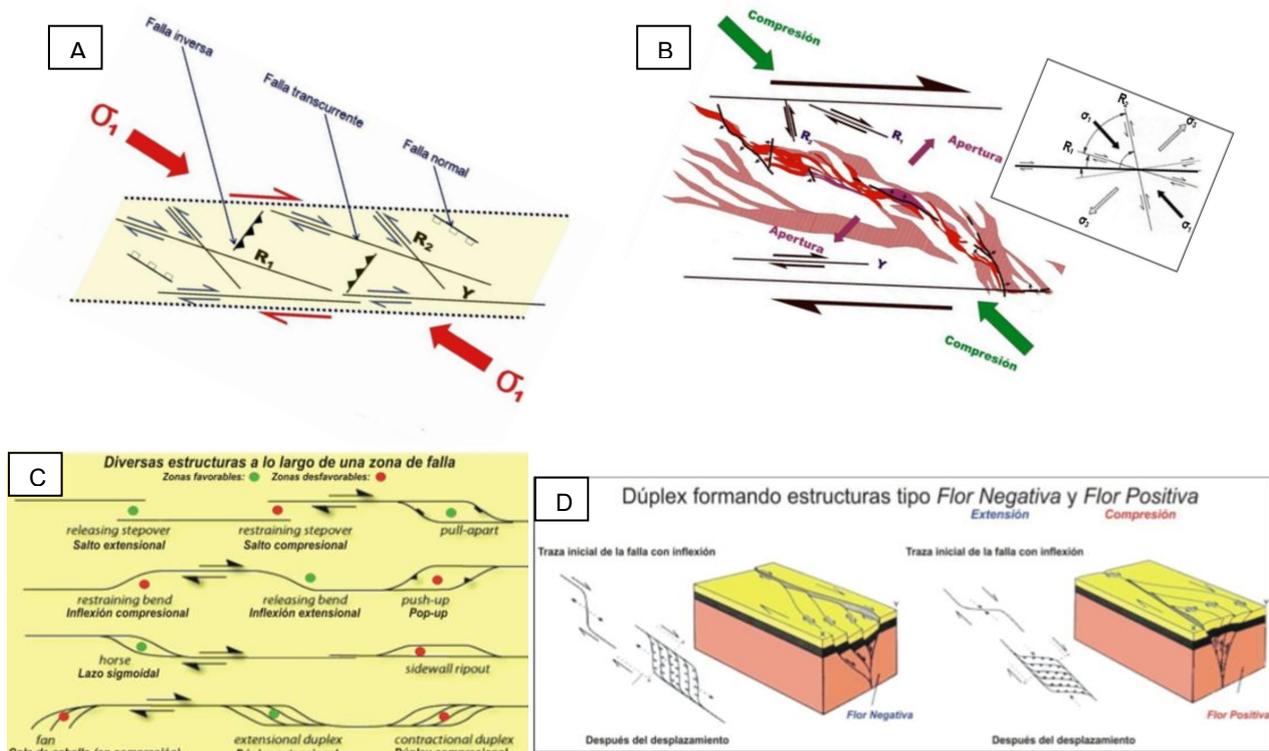


Figura 52. Zonas favorables para mineralizaciones. A) Esquema de distribución de fracturas Riedel en caso de cizallamiento dextral. B) Mismo esquema que figura anterior, donde en rojo se representan las zonas favorables de apertura y posible emplazamiento de mineralización. C) Ejemplos de estructuras en zonas de falla. D) Ejemplo de estructuras de dúplex. Tomado de Oyarzun, 2011.

Analizando la morfología de la Falla San Gregorio con sus respectivas minas asociadas, se ve una gran similitud con las características generales de un sistema de fallas dextrales. Más precisamente las minas Polvorín, El Muro y Santa Teresa NO, con su orientación paralela, se asemejan a una estructura tipo dúplex o cola de caballo, posiblemente asociadas a un cambio de rumbo de la estructura principal San Gregorio. Este proceso podría haber generado el entorno favorable para la circulación de fluidos hidrotermales que generaron la alteración de las rocas, concentración y precipitación de mineralización aurífera.

Esta interpretación no tiene como finalidad confirmar un modelo, ya que se considera que los datos recabados en este trabajo no son suficientes, sino más que nada buscar una hipótesis sobre la génesis de las minas explotadas en la zona, que genere discusión para posibles trabajos futuros y pueda servir de antecedentes para targets exploratorios.

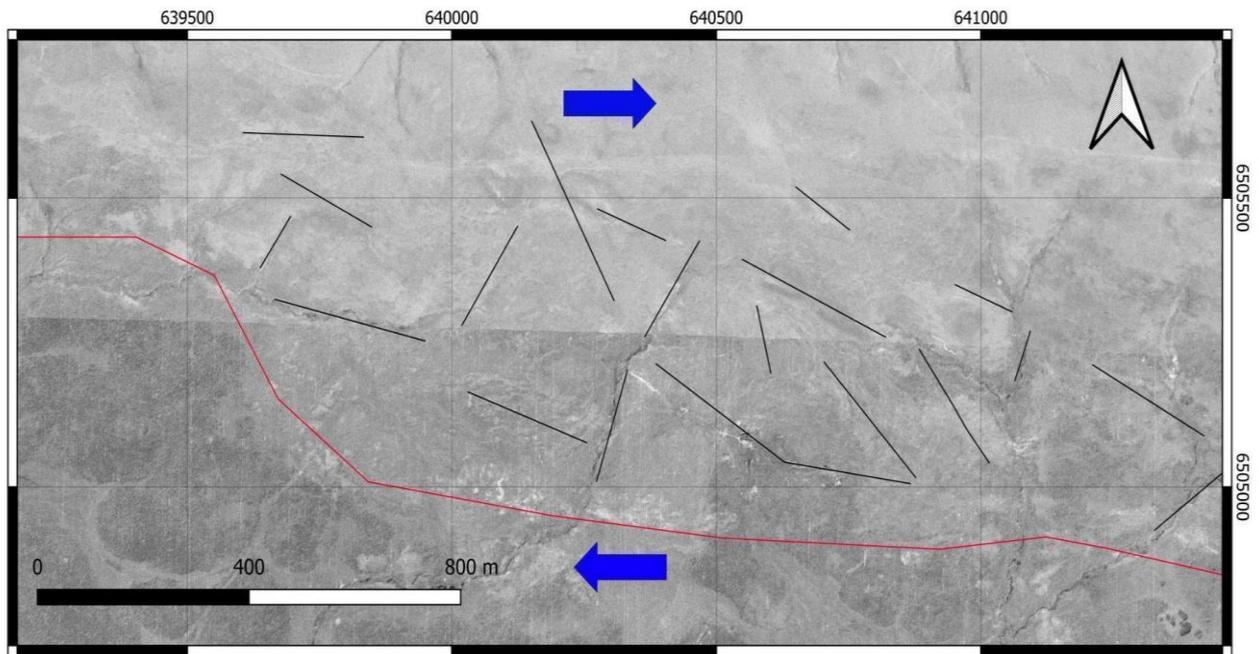


Figura 53. Foto aérea con lineamientos en negro resultado de la fotointerpretación, en rojo se interpreta el límite sur de la zona de falla representado por un cambio en la textura de la foto. Las flechas azules indican el sentido dextral de movimiento de la zona de falla.

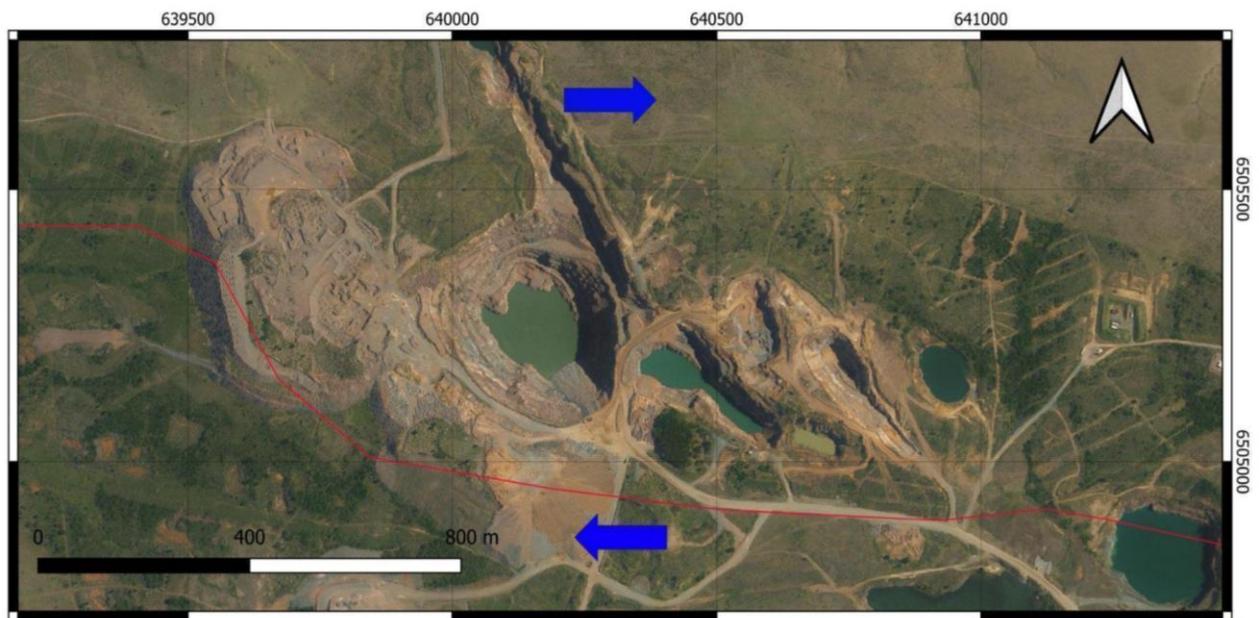


Figura 54. Imagen satelital mostrando la misma zona que la figura anterior, en rojo se aprecia el límite sur de la zona de cizalla, la cual muestra una inflexión de la misma, la cual dado la características del movimiento dextral, podría haber generado las zonas de apertura con dirección NO percibidas en las minas ya explotadas.

## 6. Conclusiones

Los objetivos propuestos en este trabajo se cumplieron. La revisión bibliográfica realizada facilitó la elección de una metodología de exploración adecuada. La revisión de antecedentes geológicos – mineros permitió el conocimiento del área de estudio, además con la interpretación de los trabajos exploratorios existentes se pudo marcar zonas de interés para ser relevadas en el campo. En el mapeo geológico se tomaron medidas estructurales, se reconocieron y muestrearon litologías con indicios de mineralización aurífera. Los resultados obtenidos de dicho muestreo, más el análisis de las muestras de campo recolectadas, confirmaron interpretaciones y evidenciaron la presencia de mineralización superficial, lo que permitió generar un target de perforación para la zona prioritaria.

Los principales hallazgos incluyen la identificación de una estructura subvertical con mineralización aurífera asociada a contactos litológicos entre rocas félsicas y máficas. Las perforaciones confirmaron la presencia de oro en profundidad, con evidencia de alteraciones hidrotermales y procesos de silicificación, sulfuración y oxidación.

El modelado tridimensional de la litología portadora permitió delinear una estructura tabular con un ancho máximo de 10 metros, una longitud de 200 metros y una profundidad de hasta 50 metros. Estos resultados fueron suficientes para definir un recurso indicado, lo que respalda la viabilidad de estudios adicionales orientados a evaluar la potencial explotación minera.

Finalmente, el estudio reafirma la importancia de la exploración sistemática en proyectos brownfield para la expansión de reservas minerales. La combinación de herramientas geológicas, geoquímicas y geofísicas ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir la incertidumbre en la identificación de nuevos depósitos minerales dentro de zonas con historial minero.

## 7. Bibliografía

- Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., & Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River. In A. E. M. Nairn & E. G. Stehli (Eds.), *The Ocean Basin and Margins* (pp. 411–446). Plenum Publishers.
- Baker, M. (2006). Airphoto interpretation of Isla Cristalina, Uruguay – Final Report. OMI. Reporte no publicado.
- Basei, M. A. S., Frimmel, H. E., Nutman, A. P., & Preciozzi, F. (2008). West Gondwana amalgamation based on detrital zircon ages from Neoproterozoic Ribeira and Dom Feliciano belts of South America and comparison with coeval sequences from SW Africa. *Geological Society, London, Special Publications*, 294, 239–256.
- Bossi, J., Campal, N., Hartmann, L. A., & Schipilov, A. (2001). Predevoniano en el Uruguay: Terrenos y SHRIMP II. Cátedra de Geología, Facultad de Agronomía. [geologia@fagro.edu.uy](mailto:geologia@fagro.edu.uy)
- Bossi, J., Cingolani, C., Llambías, E., Varela, R., & Campal, N. (1993). Características del magmatismo finbrasiliano en el Uruguay: Formaciones Sierra de Ríos y Sierra de Ánimas. *Revista Brasileira de Geociencias*, 23(3), 282–288.
- Bossi, J., Ferrando, L., Montaña, J., Campal, N., Morales, H., Gancio, F., Schipilov, A., Piñeyro, D., & Sprechmann, P. (1998). Carta geológica del Uruguay a escala 1/500.000. Facultad de Agronomía. Cátedra de Geología. Ed. Geoeditores. Montevideo, Uruguay.
- Bustillo, M., & Lopez, C. (2000). Recursos minerales: Tipología, prospección, evaluación, explotación, mineralurgia, impacto ambiental (2nd ed.). U.D. Proyectos.
- Cazaux, S. (2009). Geología, petrología y análisis estructural de la zona de Curtume—zona centro de la Isla Cristalina de Rivera (Tesis de grado). Universidad de la República, Montevideo.
- Ellis, J. (1998). The Precambrian supracrustal rocks of the Isla Cristalina de Rivera in northern Uruguay and their ore deposits. *Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen*, 90, 1–196. Heidelberg.

- Evans, A. M. (1993). *Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction* (3.<sup>a</sup> ed.). Wiley-Blackwell.
- Figueroa, I. (2014). Rasgos y principios geológicos del yacimiento "Arenal Deeps" como base para un modelo de estimación de recursos y reservas a mediano plazo (Trabajo Final de la Licenciatura en Geología).
- Furtado, A. (2014). Modelamiento geológico en 3D del depósito aurífero de tipo orogénico Argentinita, ubicado dentro del distrito minero Zapucay, Rivera (Trabajo Final de la Licenciatura en Geología).
- Lillo, J., & Oyarzún, J. (2013). Geología estructural aplicada a la minería y la exploración minera. Ediciones GEMM - Aula2pontonet.
- Marjoribanks, R. W. (2010). *Geological methods in mineral explorations and mining*. Springer.
- Martyn, J. (2000). Appraisal of the geology and mineral potential of the Minas de Corrales area. OMI. Reporte no publicado.
- Moon, C., Whateley, M. E. G., & Evans, A. M. (2006). *Introduction to mineral exploration*. Blackwell Publishing.
- National Instrument 43-101. (2014, June 24). Standards of disclosure for mineral projects.
- Ortega Orosco, M. (2017). Metodología para el análisis prospectivo y de exploración por minerales económicos (Trabajo Final Título Profesional de Ingeniero Geólogo). Lima, Perú.
- Oyhantçabal, P., Wagner-Eimer, M., Wemmer, K., Schulz, B., Frei, R., & Siegesmund, S. (2012). Paleo- and Neoproterozoic magmatic and tectonometamorphic evolution of the Isla Cristalina de Rivera (Nico Perez Terrane, Uruguay). *International Journal of Earth Sciences*, 101(7), 1745–1762.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., & Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: A review of units, boundaries, ages, and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, 100, 201–220.
- Oyarzún, J. (2011). *Introducción a la geología de minas: Exploración y evaluación*. Ediciones GEMM - Aula2pontonet.

- Passchier, C. W., & Trouw, R. A. J. (2005). *Microtectonics* (2nd ed.). Springer.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal processes and mineral systems*. Springer.
- Pohl, W. (1941). *Economic geology: Principles and practice: Metals, minerals, coal, and hydrocarbons; Introduction to formation and sustainable exploitation of mineral deposits*. Walter L. Pohl.
- Robert, F., Poulsen, K. H., Cassidy, K., & Hodgson, C. J. (2005). Gold metallogeny of Superior and Yilgarn cratons. 100th Anniversary Volume of *Economic Geology*, 1001–1033.
- Simon, A. (2007). *Aseguramiento y control de la calidad en la exploración geológica*. Reporte no publicado.
- Soto, A. (2009). *Estudio estadístico para la validación del muestreo geoquímico en perforaciones de producción, mina aurífera Arenal, Minas de Corrales, Rivera, Uruguay* (Tesis de grado de la Licenciatura en Geología). Facultad de Ciencias, UDELAR.
- Starling, T. (2008). *Structural review of the San Gregorio deposits, Rivera, Uruguay*. OMI. Reporte interno no publicado.
- Quadros, T. F. P. (2000). *Integração de dados em ambiente SIG para mapeamento de favorabilidade mineral de ouro na Ilha Cristalina de Rivera (Uruguai)*. Dissertação de Doutorado em Engenharia. Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Taylor, R. (2009). *Ore textures*. Springer.
- Thompson, J. F. H., & Hedenquist, J. W. (1995). *Atlas of alteration: A field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals*. Mineral Deposit Research Unit, University of British Columbia, Vancouver.
- U.S. Bureau of Mines. (1996). *Dictionary of mining, mineral, & related terms*.