



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**Cálculo de Reservas de la Veta “Paraíso”**

**Mina Paraíso – Distrito Ponce Enríquez**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN GEOLOGÍA**

Presentada por:

Armando Germi Vega Oyola

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2013

## **AGRADECIMIENTO**

Mi sincero agradecimiento a los profesores de la FICT por su apoyo en mi formación profesional.

A mi director de tesis. Quien con su conocimiento y experiencia supo dirigir mi trabajo de investigación.

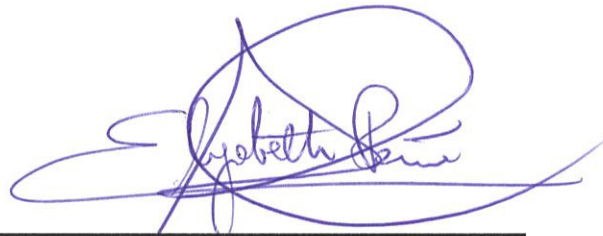
Al Grupo Empresarial ADMG por darme las facilidades y el apoyo necesario para la elaboración de la presente tesis de grado.

A mis amigos y familiares que de una u otra forma me han brindado consejos e ideas importantes, los cuales se han hechos merecedores de mi estima y respeto que siempre les tendré presente en mis días.

## **DEDICATORIA**

A la persona más importante  
en mi vida... mi madre.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



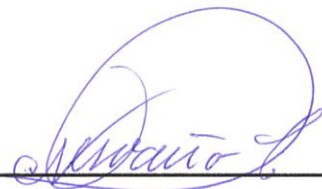
---

Dra. Elizabeth Peña  
SUBDECANA DE LA FICT



---

Ing. Edison Navarrete  
VOCAL



---

Ing. Gastón Proaño  
DIRECTOR DE TESIS



## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Armando Germi Vega Oyola

## **RESUMEN**

En la Mina Paraíso se ha realizado desde hace varios años un cálculo de reservas con métodos convencionales; sin embargo, no se ha tomado en consideración los softwares especializados en estadística y geoestadística que permiten una estimación más fiable y rápida, junto con una clasificación estándar de recursos y reservas (Código Jorc).

El yacimiento de La Mina Paraíso es filoniano, pero los trabajos antitécnicos de exploración, desarrollo y preparación no permiten realizar un cálculo convencional. Por lo cual, se planteó aplicar la geoestadística en la veta Paraíso para el cálculo de las reservas de los bloques y lograr un planeamiento más eficiente de explotación en la mina.

El presente trabajo de tesis pretende lograr la optimización y mayor precisión en la estimación de reservas y un entendimiento geológico de la veta "Paraíso".

# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**RESUMEN**

**AGRADECIMIENTO**

**DEDICATORIA**

**ANTECEDENTES**

**OBJETIVOS**

**METODOLOGÍA DE TRABAJO**

**1. GENERALIDADES**

1.1. Introducción .....	1
1.2. Ubicación geográfica .....	2
1.3. Accesos .....	3
1.4. Clima .....	4
1.5. Flora y Fauna .....	5
1.6. Labores de exploración .....	6

**2. GEOLOGIA**

2.1. Geología regional .....	8
2.1.1. Litoestratigrafía .....	11
2.1.2. Ambiente Tectónico y Evolución Geológica .....	23
2.1.3. Estructura Geológica .....	27
2.1.4. Mineralización .....	34

2.2. Geología local .....	39
2.2.1. Geomorfología .....	46
2.2.2. Geología estructural .....	48
2.2.3. Geología económica .....	49
2.3. Características del yacimiento .....	51
2.3.1. Por su tipo de mineralización .....	51
2.3.2. Por su mineralización en profundidad .....	55
2.3.3. Por su potencia en veta .....	56
<b>3. EMPLAZAMIENTO, CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y MINERALÓGICAS DE LA VETA “PARAÍSO”</b>	
3.1. Historia geológica .....	57
3.2. Veta y caja .....	58
3.3. Geología estructural .....	60
3.4. Alteración-Mineralización .....	63
<b>4. ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS</b>	
4.1. Antecedentes .....	66
4.2. Reservas de mena y recursos minerales .....	67
4.3. Criterios y normas de cubicación .....	72
4.4. Reservas de la veta “Paraíso” .....	76
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	80
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	82
<b>ANEXOS</b> .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Fig. 1. Ubicación Geográfica de la Mina Paraíso. ....	3
Fig. 2. Mapa de las Subdivisiones del Distrito Azuay. ....	10
Fig. 3. Mapa geológico simplificado del Distrito Azuay basado en los mapas geológicos del Subcomponente 3.3 - PICG (hojas 1 y 2 1:200000), y el mapa de la parte sur de la Cordillera Real a una escala 1:500000) (Litherland et al., 1997). ....	21
Fig. 4. Estratigrafía generalizada de los terrenos litotectónicos en el Distrito Azuay. ....	22
Fig. 5. Marco tectónico regional de la Cordillera de los Andes del Ecuador, mostrando la posición actual de la zona de subducción inter-placas y la orientación aproximada de movimiento. (Fuente: Servicio Británico). ....	25
Fig. 6. Estructura geológica simplificada de la Cordillera Occidental. ....	33
Fig. 7. Mapa parcial del Distrito Azuay, ubicando los prospectos mineros de la Cordillera Occidental entre 3º – 4º S. ....	36
Fig. 8. Mineralización asociada con zonas de subducción de margen continental, ilustrado dentro del contexto litoestratigráfico de la Cordillera Occidental del Ecuador. (Fuente: PRODEMINCA). ....	37
Fig. 9. Mapa geológico del Sector Gaby - Bella Rica, Campo Mineral Ponce Enríquez. Mapa basado en los mapas de CODIGEM-AGCD (1993), Zappa Resources/Cambior/Prominex (1996) y Ecuadorian Minerals Corporation (1997). ....	42
Fig. 10. Geología y modelo tectónico de las fallas alrededor de Ponce Enríquez. ....	44
Fig. 11. Mapa Geológico, Área Bella Rica. Misión Belga (1996). ....	45
Fig. 12. Mineralización de diferentes vetas en la mina "Paraíso". En las fotografías se observa el dominio mineralógico de pirrotita y pirita. Sin embargo, también se identifica cuarzo-carbonato, zonas de cizalla (brechas) y diseminados. ....	52
Fig. 13. "Stockwork" con vetillas de carbonatos, cuarzo y epidota, atravesado por crucero del Proyecto Comimach. ....	53
Fig. 14. Vetas estranguladas y ramificadas con hastiales diseminados. ....	54
Fig. 15. Alteración centimétrica de la veta "Paraíso" en el Nv. 5. ....	59
Fig. 16. Mineralogía característica de veta "Paraíso" en diferentes niveles de mina. (Fuente: Autor). ....	60
Fig. 17. Estructura tipo flor positiva. Interpretación de génesis de veta Paraíso. ....	61
Fig. 18. Falla Paraíso, nivel 6. Desplazamiento transcurrente de la veta Paraíso por acción de la falla Paraíso. ....	62
Fig. 19. Falla "Paraíso" en Gal. 211 S, Nivel 5. ....	63

Fig. 20. Distribución típica de minerales de ganga y mena en un yacimiento epitermal. Tomado de Buchanan (1981).....	65
Fig. 21. Terminología y relación entre información de exploración, Recursos Minerales y Reservas de Mena. ....	71
Fig. 22. Consideraciones geométricas para clasificar los Bloques como Reserva de Mena o Recurso Mineral.....	76
Fig. 23. Ubicación espacial de los muestreos en la sección transversal de la veta "Paraíso". .....	77
Fig. 24. Modelamiento geoestadístico de la veta "Paraíso" utilizando los datos de muestreo. ....	77
Fig. 25. Cubicación de la veta "Paraíso". ....	78
Tabla 1. Rutas de Accesos a Mina "Paraíso" desde Quito-Machala vía terrestre. ....	4
Tabla 2. Tabla comparativa de depósitos epitermales de baja y alta sulfuración.....	64
Tabla 3. Estimación de Recursos y Reservas de la veta Paraíso. ....	79

## **ANTECEDENTES**

La Mina “Paraíso” a través de los años ha tenido una trayectoria sin precedentes, constituyéndose en una compañía líder a nivel nacional. Desde su apertura, con trabajos 100% subterráneos, ha pasado por una serie de procesos en su historia evolucionando paralelamente con las exigencias propias de una empresa moderna.

Durante los años de prospección, exploración y explotación se ha venido desarrollando el “Reporte de Recursos Minerales y Reservas de MENA”, el cual ha servido como base fundamental para cuantificar las reservas de la mina y tomar decisiones en los Programas de Exploración, Desarrollo, Preparación y Explotación. El reporte anual de reservas se actualiza y modifica a medida que avanzan las operaciones, muestreo y nueva evidencia geológica que se va recolectando.

Cabe mencionar que la Mina Paraíso tiene un potencial aurífero aún desconocido ya que faltan exploraciones y desarrollos en las vetas que se están explotando y en aquellas que se han encontrado por cruceros. Es esencial aumentar y cuantificar las reservas de la mina ya que en los últimos años la producción ha estado decreciendo en cantidades que se deben tener en consideración.

Por lo tanto, el Cálculo de Reservas de las vetas es primordial en las operaciones y decisiones en la empresa.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Calcular las reservas de la veta “Paraíso” e incrementar el conocimiento geológico y su potencial minero.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar toda la información posible de los estudios geológicos realizados en la zona.
- Identificar tendencias de mineralización.
- Desarrollar una metodología de cálculo de reservas y recursos aplicando geoestadística.
- Proponer un modelo de yacimiento en base a la información utilizada en el desarrollo de esta tesis.

# METODOLOGÍA DE TRABAJO

La elaboración de esta tesis se dio en 3 fases:

- **Fase 1.** Se realizó la recopilación y análisis de la información existente en la empresa previo al desarrollo de estudio, como son: base de datos de muestreos sistemáticos, topografía, informes técnicos y demás datos que la empresa podía facilitar. Además, se consultó mapas topográficos, geológicos, geomorfológicos y



documentos de dominio público generados por las diferentes instituciones del estado (IGM, INIGEMM, etc.) en diferentes escalas; asimismo publicaciones relacionadas con el presente tema de tesis.

- **Fase 2.** Corresponde al trabajo del interior de la mina: en esta fase se realizó el estudio geológico de la veta. Igualmente, se identificaron galerías, chimeneas y tajos que no habían sido muestreados o que no hayan estado en la base de datos de muestreo. Con ello se tomaron las correspondientes muestras para su posterior envío a laboratorio y completar la información de los mismos.
- **Fase 3.** En esta última fase se realizó el procesamiento de datos, síntesis e interpretación de la información obtenida, lo cual culminó en la redacción del tema de tesis, el cálculo de reservas de la veta “Paraíso” y el modelo de yacimiento de carácter general.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

En la minería de nuestro medio los trabajos de explotación en yacimientos vetiformes no son adecuados para un cálculo de reservas. Las reservas son estimadas aplicando métodos tradicionales y no se toma en consideración que los yacimientos son irregulares en sus leyes y varían en ciertos rangos que se consideran clavos<sup>1</sup> y no se les da el tratamiento estadístico adecuado. Pero en la actualidad existen métodos estadísticos y geoestadísticos que permiten estimar y clasificar las reservas y recursos, tomando como sustento en nuestro caso, una base de datos de muestras del interior de la mina.

---

<sup>1</sup> Término minero referido a valores muy altos de ley de mineral (Au).

Los softwares y computadores facilitan los cálculos y permiten generar cubriciones de alta precisión y exactitud (Modelo de bloques). Este tipo de estimación permite tener un cálculo de recursos más confiable para realizar una programación y planeamiento de la explotación.

Por ello es necesario generar procedimientos adecuados de recolección de datos (muestras), procedimientos de estimación y validación de la estimación de recursos según estándares internacionales como el Código de Australia para Informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena (Código JORC<sup>2</sup>).

## **1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

La Mina “Paraíso” de propiedad de la Compañía Minera BELORO ECUADOR S.A. está ubicada en la Cooperativa Bella Rica situada en la parte occidental de la Provincia del Azuay, Cantón Camilo Ponce Enríquez, Parroquia Bella Rica en las coordenadas E=644790 y N=9658356 a 474 m.s.n.m. (Fig. 1).

---

<sup>2</sup> Estándar Internacional para la Clasificación de Reservas y Recursos de mineral.

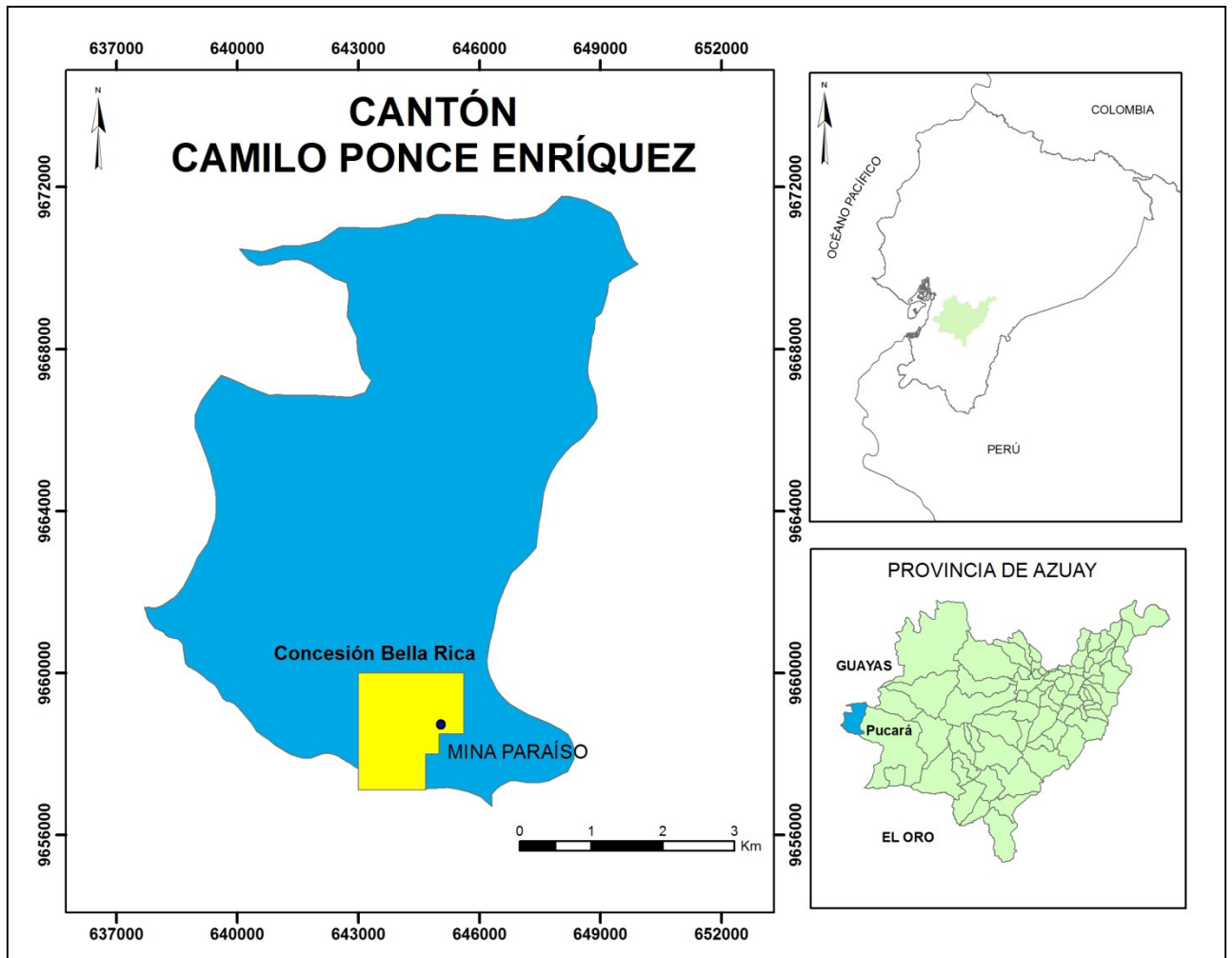


Fig. 1. Ubicación Geográfica de la Mina Paraíso.  
(Fuente: Autor).

### 1.3. ACCESOS

El acceso terrestre se efectúa utilizando la carretera panamericana que une Machala con Guayaquil. Al llegar al puente sobre el Río Siete, vía San Miguel de Brasil, se recorren 9.3 km hasta el campamento de la mina Paraíso. Las carreteras que cruzan el área de concesión son de tercer

orden compactadas, y están en propiedad de la Cooperativa Bella Rica, la cual se encarga del mantenimiento, **Anexo 1**.

TRAMOS	DISTANCIA	TIEMPO APROXIMADO
Quito – Machala	507 km	15 horas
Machala - Camilo Ponce Enríquez	45 km	1 hora
Camilo Ponce Enríquez – Mina Paraíso	13 km	30 minutos

**Tabla 1.** Rutas de Accesos a Mina "Paraíso" desde Quito-Machala vía terrestre.  
(Fuente: Autor)

También se puede acceder por vía aérea, ya que existe un aeropuerto en Santa Rosa, siendo los recorridos los siguientes:

Quito – Santa Rosa: 1 hora

Guayaquil – Santa Rosa: 1/2 hora

Después se puede viajar desde Santa Rosa al cantón Camilo Ponce Enríquez por las rutas antes mencionadas.

## 1.4. CLIMA

De acuerdo al Mapa Bioclimático del Ecuador<sup>3</sup>, **Anexo 2**, la zona a los alrededores de Ponce Enríquez es una región subtropical con temperaturas que oscilan entre los 22° y 30°C. La más alta se registra entre los meses de diciembre a julio y la más baja entre agosto y noviembre.

---

<sup>3</sup> Ing. Luis Cañadas C & Ing. Washington Estrada A, 1978.

La zona se caracteriza por presentar una temporada de precipitaciones bien definida entre los meses de enero a junio y una temporada seca que corresponden a los meses de julio a diciembre. La precipitación promedio anual es de 1455.3 mm; pero históricamente hay una fuerte variación de las precipitaciones anuales y mensuales.

## **1.5. FLORA Y FAUNA**

La flora es abundante y varía de tropical a sub-tropical con áreas de bosque en ciertos sectores. Algunas de las especies de árboles son figueroa, machare, capal, zapote, hijirón, chilcon, zanón, guapala, guamuro, nogal, chonta, laurel, canelo, pino, tagua y cedro por nombrar algunas, además existen especies de orquídeas y palmas.

La fauna de la zona está representada por mamíferos, aves, reptiles, crustáceos, peces e insectos; que por la comercialización y caza de especies nativas de animales, ha disminuido debido al exterminio casi total de varias especies propias de la zona.

Entre los animales en procesos de extinción se identifica a: la Guanta, el Venado, el Oso Negro, el Oso Hormiguero, el Mono Martín (colorado), el

Mono Negro (grande), el Tigre, el Puerco espín, el Puerco sajino, el Perro del agua y el Leopardo.

Aves como el Tilingo, el Búho, la Lechuza, la Valdivia, el Tucán Pecho Blanco. Entre las aves en peligro de extinción se identifican al Perico ligero, Loro real, al Buchón, el Tucán o predicador.

Dentro de reptiles se encuentra una variedad de serpientes, tales como: La equis, rabí hueso, falsa coral, mataballo, chonta, sayama. Además se encuentran iguanas y tortuga.

Se encuentran crustáceos como: pangora, camarón de río, pez barbudo, guanchiche, raspa balsa, entre otras.

## **1.6. LABORES DE EXPLORACIÓN**

Las labores de exploración en la mina son proyectadas en un plan anual de inversión en que incluyen además las labores de desarrollo, preparación y explotación de mineral. Participan en su elaboración el departamento de geología, topografía y mina, aportando cada uno de ellos las recomendaciones técnicas y prioridades para cumplir los objetivos de la empresa (tonelaje, leyes, etc). El plan anual es discutido y

consensuado en una junta general de los departamentos que luego, es llevado a gerencia general para su aprobación.

Al no estar explorada la mina en su totalidad tiene un potencial aurífero aún desconocido. Sin embargo, la gran mayoría de vetas (Paraíso, 3 Ranchos, Falsa Paraíso, etc.) están ya definidas por cruceros, pero faltan desarrollos y preparaciones para su posterior cubicación.

En el caso específico de la Veta "Paraíso", ésta ha sido explotada por varios años a través pocos tajos en varios niveles (1, 4, 5 y 6), pero no en su totalidad y hay que adicionar que esta veta ya ha sido reconocida en las exploraciones de los niveles inferiores (Nivel 7). Se tiene realizado muestreo en gran parte de la veta mas no hay un cálculo de reservas de la misma para conocer la cantidad de mineral que posee y saber su valor industrial.



# CAPÍTULO II

## 2. GEOLOGIA

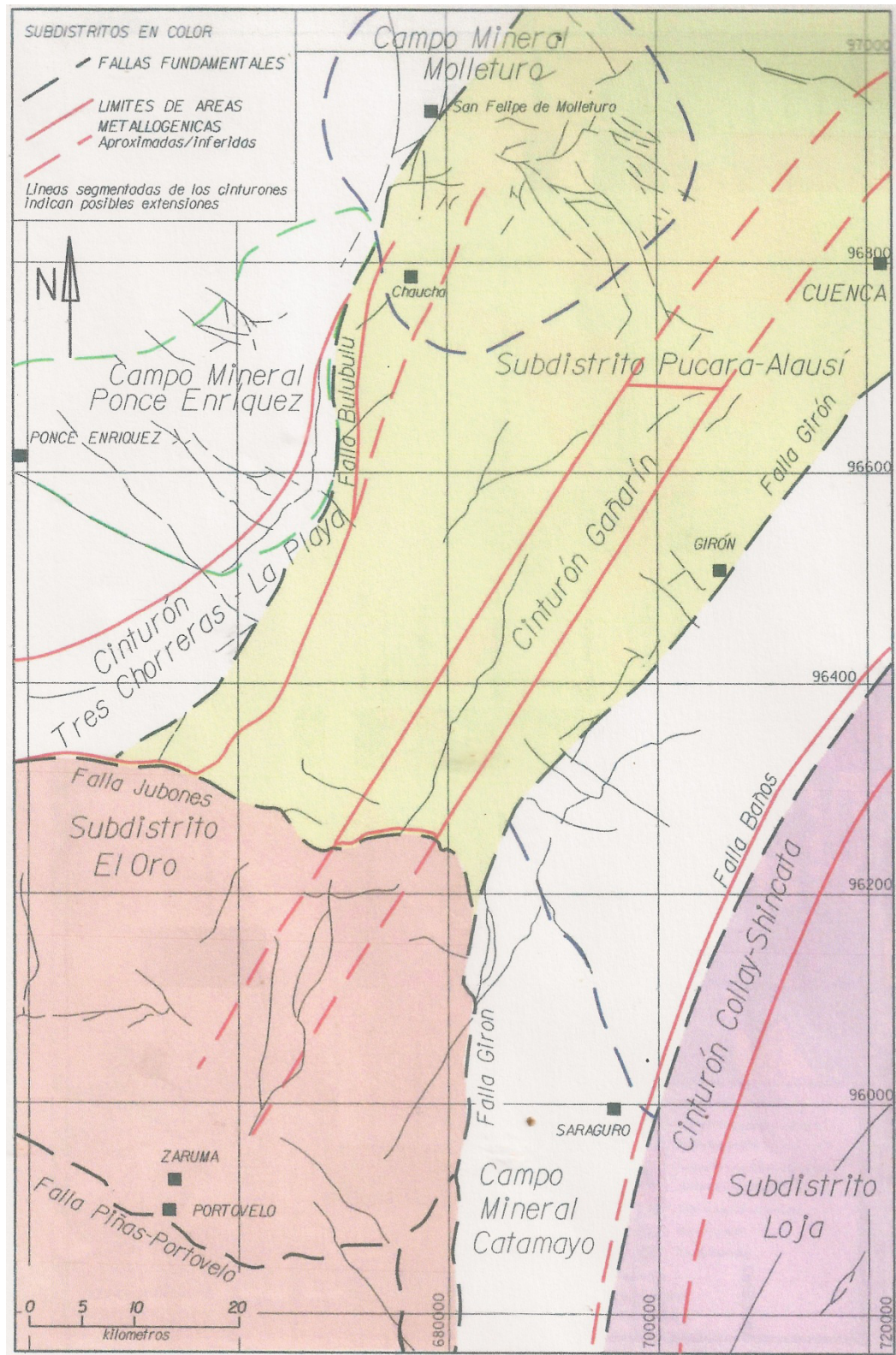
### 2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra dentro del Distrito Minero Azuay delimitado en base a los datos de ocurrencias minerales y sistemas de información geográfica en las coordenadas geográficas 79°00'-79°50'W y 2°40'-3°50'S. Incorpora los subdistritos y campos minerales de Ponce Enríquez, Zaruma-Portovelo, Molleturo, Catamayo y los cinturones vecinos de Gañarín, Tres Chorreras, Alao y Collay-Shincata. (Fig. 2)

El Distrito Azuay ocupa la totalidad de la Provincia de Azuay, excepto por su prolongación al NW, y la parte más N de la Provincia de El Oro. Su delineación es en cierta medida arbitraria pero cubre esencialmente el área ocupada por el Grupo Saraguro en el S del Ecuador al W de la longitud 79°W y la ciudad de Cuenca. El borde S fue definido por los

límites fallados del Complejo Metamórfico de El Oro y el borde N escogido para incluir todo el afloramiento de la Cuenca de Cuenca, la masa principal del Batolito de Chaucha y el grupo asociado de depósitos del campo mineral Molleturo.

El Distrito Azuay abarca toda la anchura de la Cordillera Occidental desde el Terreno Loja, al E de la Falla de Baños, hasta la llanura costera del Golfo de Guayaquil en el W. Desde el SE al NE comprende segmentos de los terrenos de rumbo NE-NNE Loja, Alao, Chaucha y Pallatanga de edades pre-Cretácico que han sido acrecionados sucesivamente al “hinterland” Paleozoico-Triásico del Cratón de Guyana (Escudo Brasileño). Los límites entre estos terrenos están marcados por fallas inversas regionales y cabalgamientos. La evolución Cenozoica del área estuvo dominada por magmatismo calco-alcalino y sedimentación, cuyos productos ocupan ahora un 80% de los afloramientos.



**Fig. 2.** Mapa de las Subdivisiones del Distrito Azuay.  
 (Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Junio 2000).

### 2.1.1. LITOESTRATIGRAFÍA

La geología fue tomada de los Mapas Geológicos de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 2°-3° S y 3°-4° S escala 1:200000 del año 1997, el Programa de Información Cartográfica y Geológica de PRODEMINCA editado en el año 2000 y los datos descriptivos de Pratt et al. (1997) y Dunkley & Gaibor (1997) respectivamente.

Las características de las unidades de roca del área de estudio y sus cercanías se detallan a continuación. (Fig. 3 y Fig. 4)

#### - **Rocas del Pre-Cretácico**

**Rocas metamórficas:** Están expuestas en el sector S de la Cordillera Occidental entre los grados 2°-4°S. Las rocas son probablemente de origen Paleozoico y metamorfizadas en el Triásico tardío. La litología original son sedimentos de grano fino; sin embargo, en la provincia de El Oro en el SE incluyen rocas ígneas continentales y oceánicas.

#### - **Rocas cretácicas**

**Unidad Pallatanga:** Contiene basaltos de fondo marino, acrecionados contra el continente suramericano durante el Eoceno. Corresponde a una asociación ofiolítica, dominada por una gruesa secuencia de basaltos masivos y en

almohadillas, con hialoclastitas<sup>4</sup>, intercalaciones de cherts, e intrusiones gabroicas y ultrabásicas. Intrusiones finogranulares con textura variolítica<sup>5</sup> son comunes, y la similitud petrográfica con las lavas, sugieren que las intrusiones son contemporáneas.

La edad de la Unidad Pallatanga no está bien establecida, aunque Reynaud et al., 1999 propone una edad de 123+/-13 Ma al W de Quito.

A estas rocas se superponen discordantemente los depósitos volcanoclásticos del Grupo Saraguro (Eoceno Tardío - Mioceno Temprano) que a su vez son intruidas por dioritas y granodioritas Neógenas (Pratt et al., 1997). Aflora a lo largo de la carretera Ibarra-San Lorenzo en el norte y al sur del Valle del Río Jubones.

**Unidad Yunguilla:** Son turbiditas marinas localmente calcáreas de edad Maastrichtiano, según ensambles de microfósiles según un estudio realizado por Petroproducción (1996), que ha sido depositada sobre la Unidad Pallatanga.

---

<sup>4</sup> La hialoclastita es una brecha de origen volcánico rica en vidrio volcánico que se forma en erupciones bajo agua o hielo. La mayoría de las partículas son lapillis o cenizas.

<sup>5</sup> Tipo de estructura esferulítica que aparece a menudo en rocas básicas vítreas (taquilas) existentes en los bordes de algunos diques o sills. Los filamentos, en forma radial, que constituyen la esferulita son, generalmente, de plagioclasa.

Pratt et al. (1997) menciona que a esta unidad se la encuentra cerca de la población de Manú. No aflora la base de esta unidad y los contactos definidos están sobreyacidos por la Unidad Sacapalca y/o el Grupo Saraguro. En Manú, esta unidad comprende areniscas finas y gruesas con estratificación cruzada interdigitadas con filitas chertosas y carbonosas.

La unidad es de origen marino y predominantemente turbidítica, con aporte volcánico y metamórfico con presencia de minerales pesados como monazita, turmalina, rutilo, titanita, y zircón muy redondeado que sería indicativo de un ciclo sedimentario secundario, derivado de rocas sedimentarias o meta-sedimentarias preexistentes.

Los principales afloramientos limitan con la Unidad Pallatanga al norte de Molleturo, entre San Francisco de Multitud y Chimborazo, y a lo largo de la Falla Pallatanga.

**Unidad Celica:** Aflora al norte de El Cisne donde sobreyace inconformemente al complejo metamórfico El Oro y está sobreyacida por la Formación Sacapalca. Las principales litologías comprenden tobas andesíticas verdes muy meteorizadas y lavas andesíticas a andesita-basálticas.

En la cuenca de Alamor, unos 50 km al sur de Zaruma, relaciones estratigráficas sugieren una edad Albiana (Jaillard et al., 1996).

#### - **Rocas Terciarias**

**Unidad Sacapalca:** Descrita por primera vez por Kennerley (1973). Antes fue mapeada como Grupo Saraguro y según Pratt et al. (1997), es asignada a Sacapalca.

Comprende una secuencia de rocas volcánicas andesíticas con foliación de flujo bien preservada de color púrpura y rojizo; además, rocas sedimentarias (limolitas rojas, areniscas y conglomerados) con escasas tobas de composición dacítica y riolítica.

En Catamayo a esta unidad se le incluye estratos no definidos del Paleoceno a Eoceno Temprano, que son intruídos por el plutón de San Lucas de 39,1 +/- 3 Ma (Steinmann, 1997), el intrusivo El Tingo 21,2 +/- 2,6 Ma (Hungerbühler, 1997) y el plutón Rodanejo 38,7 +/- 5,6 Ma (Hungerbühler, 1997). La variación de edades puede ser explicada parcialmente por las diferentes historias de enfriamiento post-cristalización que ha sufrido la roca (Hungerbühler et al., 2002).

Esta unidad según Pratt et al. (1997) representa depósitos en un ambiente terrestre de volcanes andesíticos y por flujos de escombros.

**Unidad Macuchi:** Es una secuencia volcanoclástica intermedia a básica compuesta por areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, hialoclastitas, limolitas volcánicas, microgabros/diabasas, basaltos subporfiríticos, pillow lavas y escasas calcarenitas, que representa los remanentes de un arco de isla intraoceánico acrecionado. Las dataciones radiométricas para los granitoides que intruyen la Unidad Macuchi, conjuntamente con la evidencia fósil de los sedimentos intercalados, sugieren una edad Eocena Temprana a Media (ca. 50 Ma). La unidad está intruida y localmente metamorfizada por un grupo de plutones tipo I cuya edad varía de 35 a 14 Ma.

La mayor parte de las facies de la Unidad Macuchi son productos de actividad volcánica efusiva submarina, ya sean como productos eruptivos o material re TRABAJADO depositado por procesos de flujos de masas.



El afloramiento de la Unidad Macuchi constituye alrededor del 15% de toda la Cordillera Occidental, dominando el lado occidental de la misma entre 0°15'S y 2°30'S.

**Grupo Angamarca:** Es un conjunto litológicamente diverso y extenso de areniscas turbidíticas, limolitas y lutitas de estratos de tamaño fino a medio. Representa un relleno siliciclástico que se hace más grueso hacia arriba, depositado durante el desarrollo costa afuera del arco insular Macuchi (es decir, durante el Eoceno).

Sus afloramientos intermitentes tienen orientación NNE desde alrededor de 0°35'S a 2°45'S. Generalmente está en contacto fallado con los terrenos Macuchi y Pallatanga al W respectivamente.

**Grupo Saraguro:** Es un grupo heterogéneo de rocas volcánicas ácidas a intermedias, que incluyen tobas primarias retrabajadas y brechas redepositadas con abundante material volcánico, conglomerados y lavas. En mayor parte fueron depositadas de manera subaérea, aunque también hay volcanoclastos lacustres. El volcanismo del Grupo Saraguro se

extendió desde el Eoceno Medio al Mioceno Temprano (ca. 42-21 Ma).

Tomando los resultados del trabajo de Pratt et al. (1997) y según análisis petrográficos de rocas del Grupo Saraguro se puede identificar tres composiciones<sup>6</sup>.

a) Tobas andesíticas de color verde, con abundante plagioclasa, anfíbol y cristales de augita. La textura vitroclástica es rara y la foliación de soldadura es poco desarrollada.

b) Tobas dacíticas que contienen feldespatos +/- anfíboles y algunos cristales de cuarzo en una matriz café a rosada. Lapilli de pómez son comunes.

c) Tobas riolíticas blancas, café claras y rosadas. Textura vitroclástica es común; la biotita es un componente importante en algunas tobas.

El Grupo Saraguro está indiferenciado en su mayor parte. Sin embargo, Pratt et al. (1997) lo dividió en cinco Formaciones: Las Trancas, Plancharumi, La Fortuna, Jubones y La Paz; incluyendo también la Unidad Portovelo. A su vez, estas divisiones según PRODEMINTA (2000) pueden ser divididos en 3 fases principales: La actividad temprana, que

---

<sup>6</sup> Pablo Gonzalo Chérrez Ramírez. GEOLOGÍA ECONÓMICA DE LAS VETAS AURÍFERAS DE YASHIPA, PROSPECTO SHAGLLI, PROVINCIA DEL AZUAY.

probablemente se extendió al Eoceno Tardío (ca. 42-35 Ma), está caracterizada por tobas ácidas (dacíticas a riolíticas) de flujos de lavas y brechas. En el Oligoceno Temprano (ca. 35-29 Ma), las rocas formadas son de composición intermedia (andesíticas). El Oligoceno Tardío y el Mioceno Temprano (ca. 29-21 Ma) está marcado por un retorno a un volcanismo ácido y la formación de tobas predominantemente riolíticas de flujos de ceniza con lavas y sedimentos lacustres.

Sin embargo, para resolver la complicada estratigrafía del Grupo Saraguro Hungerbühler et al. (2002) lo dividió en 2 formaciones en base a trazas de fisión en zircón. 1) Fm. Loma Blanca y 2) Fm. Saraguro, ambas incluyen a piroclastos de composición intermedia a ácida.

#### - **Rocas volcánicas del post-Mioceno**

**Volcánicos del Plio-Pleisteceno:** Las rocas volcánicas del Plioceno incluyendo posiblemente algunas del Mioceno Tardío y el Cuaternario sobreyacen disconformemente a las rocas más antiguas en gran parte de la Cordillera Occidental. Lavas, tobas, depósitos de ceniza, flujos piroclásticos y flujos de lodo volcánico se incluyen en su litología.

## - **Depósitos Cuaternarios**

Zonas extensas a lo largo de los drenajes principales se encuentran cubiertas por terrazas aluviales. Por otro lado, en las partes bajas de la planicie costera las rocas Cretáceo Terciarias en su mayoría están cubiertas por depósitos aluviales. Al E de Pasaje se identificaron depósitos de abanicos aluviales cubriendo el Grupo Saraguro. En la parte N de la parroquia Manú fueron mapeados depósitos coluviales.

## - **Rocas Intrusivas**

**Gabros y microgabros:** Con textura variolítica común, ocurren como parte de la Unidad Pallatanga. Cuarzo-dioritas y granodioritas/tonalitas están ampliamente esparcidas intruyendo las rocas metamórficas, las formaciones cretáceas, la Unidad Sacapalca y la parte baja del Grupo Saraguro.

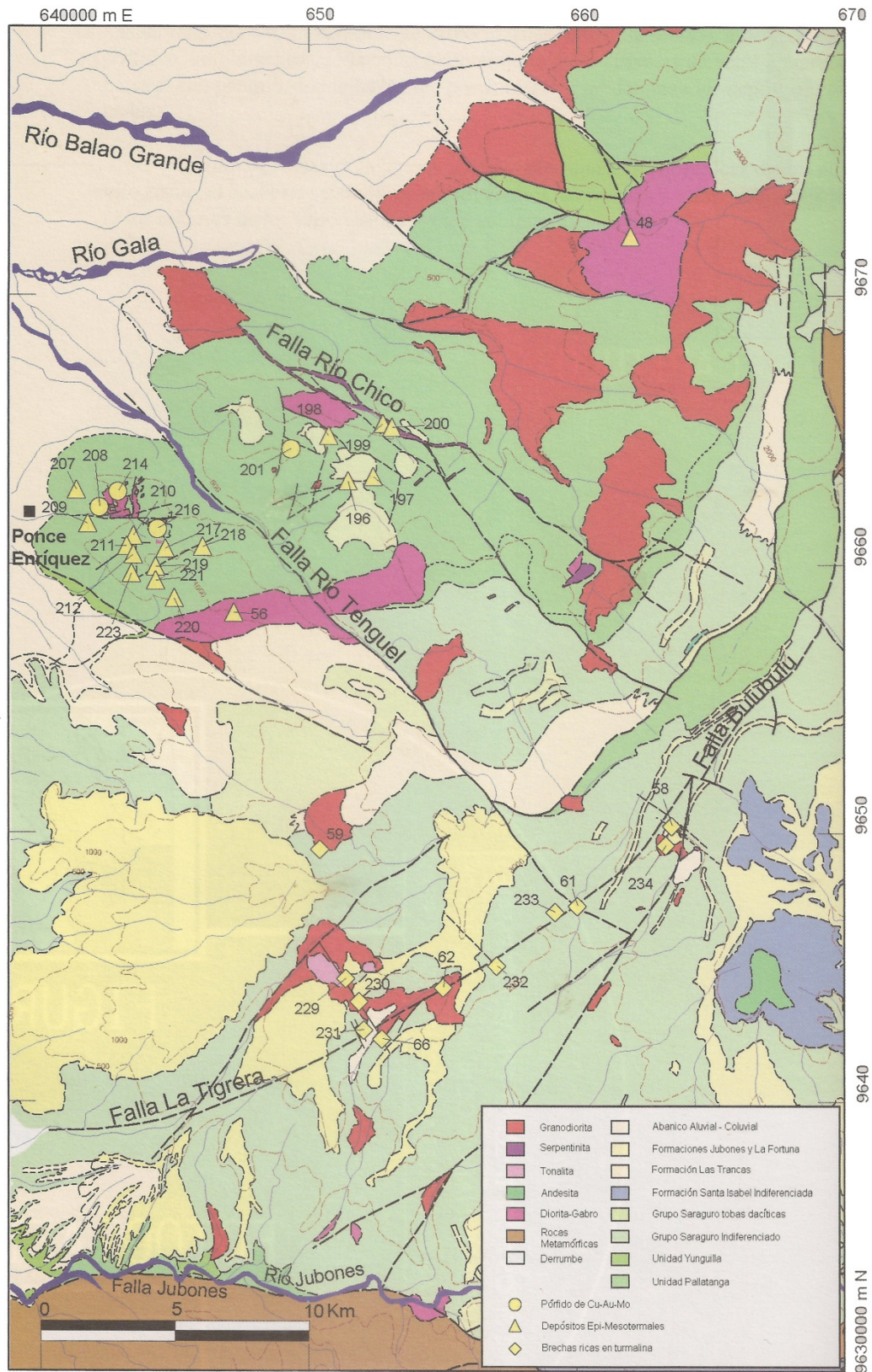
**Los granitoides:** Son generalmente de grano medio a grueso, a menudo presentan evidencia de enfriamiento brusco (tal como vidrio cloritizado intersticial y fino crecimiento granofírico<sup>7</sup> y holocristalino), indicativo de un emplazamiento subvolcánico (alto nivel). Muchos de ellos, tales como Shangli (6793,

---

<sup>7</sup> Se aplica a intercrecimientos de grano fino de cuarzo y cualquier feldespato alcalino o plagioclasa que se encuentran como productos tardíos intersticiales en granitos. Esta textura se forma por cristalización muy rápida y simultánea de las dos fases a partir de líquidos tardíos atrapados entre cristales formados previamente.

96518), son parte de complejos que incluyen microgranodioritas y microdioritas. La intrusión mayor de Paccha (6471, 96060) que cubre un área de al menos 150 Km<sup>2</sup>, y está localmente foliada, ha sido datada en 16.89±0.16 Ma (K/Ar). Una cuarzo-diorita al NE de Uzhcurrumi (6635, 96347) da una edad de 19.92± 0.18 Ma (K/Ar) y la granodiorita de Shangli da 17.64±0.61 Ma (K/Ar).

**Stocks subvolcánicos de riolita afírica y andesita porfirítica:** Son comunes dentro del Grupo Saraguro y las formaciones más jóvenes. Están concentrados en el área de la inferida caldera Jubones y a lo largo del Cinturón Gañarín. Algunos pueden ser transicionales hacia domos, por ejemplo en Abañín. A lo largo de la carretera Santa Isabel-Pucará, una riolita brechada de hasta 300 m de espesor y con una longitud de 5 km puede representar un domo colapsado. Las intrusiones de riolita alrededor de Pachagmama son probablemente del Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano; en contraste, aquellas dentro de la Caldera de Quimsacocha deben ser menores que 10 Ma porque intruyen a la Formación Turi.



**Fig. 3.** Mapa geológico simplificado del Distrito Azuay basado en los mapas geológicos del Subcomponente 3.3 - PICG (hojas 1 y 2 1:200000), y el mapa de la parte sur de la Cordillera Real a una escala 1:500000) (Litherland et al., 1997).  
(Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Junio 2000).



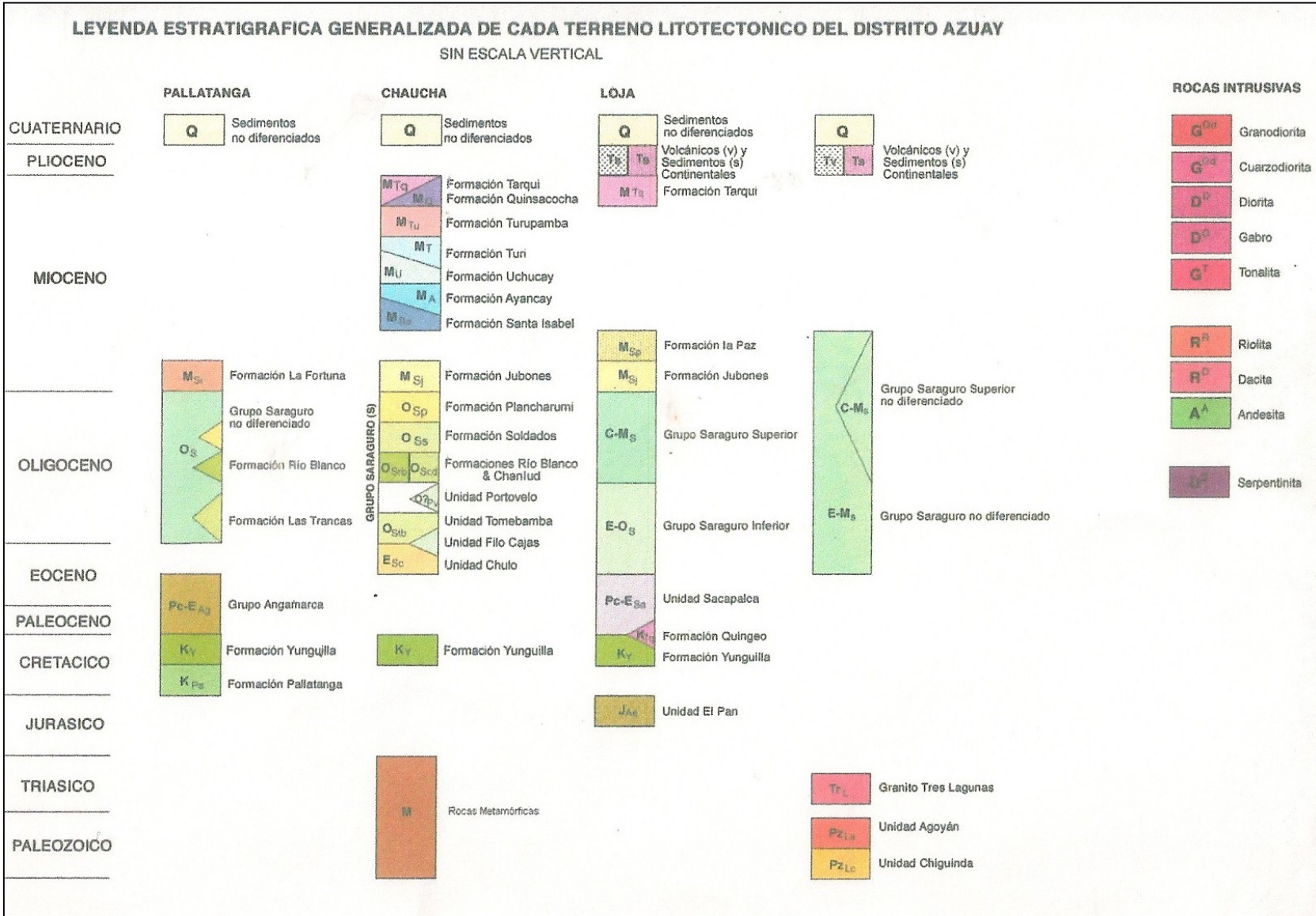


Fig. 4. Estratigrafía generalizada de los terrenos litotectónicos en el Distrito Azuay.  
(Fuente: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador, Junio 2000).

### 2.1.2. AMBIENTE TECTÓNICO Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

Al encontrarse el Ecuador en la zona de convergencia de la Placa Nazca con la Placa Sudamericana, Fig. 5, se desarrolla el proceso de subducción. Las placas participan de un ambiente geodinámico responsable de la presencia de una fosa tectónica ubicada costa afuera y de la existencia de las siguientes zonas fisiográficas claramente definidas:

- Planicie costera, donde se formaron cuencas de ante-arco.
- La Cordillera de los Andes o arco volcánico conformada por las Cordilleras paralelas Occidental y Real.
- El Valle Interandino a lo largo del cual se extienden cuencas intramontañosas.
- Zona Sub-andina, donde se encuentra la Cuenca Amazónica o de tras-arco.

El área de estudio se encuentra en el Distrito Azuay, ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, la cual constituye un ambiente joven con una evolución que abarca aproximadamente 90 Ma.



El basamento de la Cordillera Occidental se formó de rocas metamórficas más viejas (Pre-cretácicas), que una vez constituyeron el margen continental sudamericano. Una banda de corteza oceánica, ahora conocida como Unidad Pallatanga, chocó contra esas rocas en el Cretácico Tardío. En ese tiempo se desarrolló costa afuera el sistema de rocas oceánicas Macuchi (Unidad Macuchi), formado en un arco de isla. Este sistema a su vez, fue anexado al margen continental posiblemente en conjunto con las rocas de arco más viejas del Terreno Naranjal durante el Eoceno.

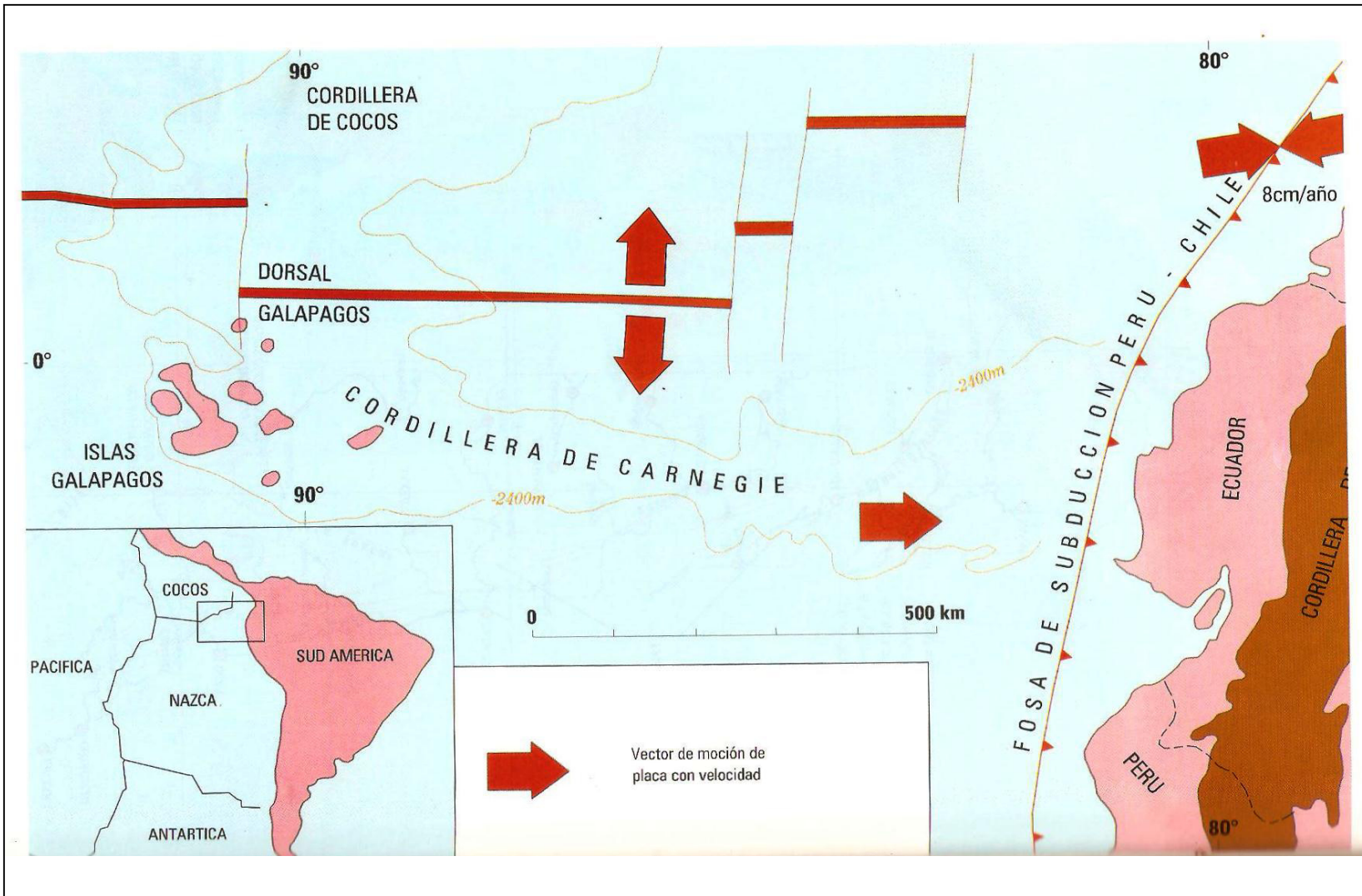


Fig. 5. Marco tectónico regional de la Cordillera de los Andes del Ecuador, mostrando la posición actual de la zona de subducción inter-placas y la orientación aproximada de movimiento. (Fuente: Servicio Británico).

Como resultado del proceso de subducción entre la Placa de Nazca y Sudamericana la actividad volcánica a lo largo del margen continental comenzó en el Eoceno Tardío y ha continuado hasta la actualidad. Depósitos de lava principalmente de carácter ácido (dacita) e intermedio (andesita), ceniza y rocas volcano-sedimentarias actualmente cubren más del 50% de la Cordillera Occidental y aproximadamente un 10% está recubierta por rocas volcánicas cuaternarias derivadas de centros de erupción tales como el volcán Illiniza, Quilotoa, Chimborazo, Pichincha y Cotacachi. Gran parte del periodo de volcanismo ha sido acompañado por el emplazamiento de rocas intrusivas. La meteorización y erosión subsecuente han destapado muchas de estas intrusiones y ahora afloran sobre un 10% de la superficie de la Cordillera Occidental<sup>8</sup>.

En lo que respecta a la costa de la provincia de El Oro, sufrieron hundimientos temporales seguidos por movimientos ascendentes en grado moderado, dando como resultado un tablazo algo inclinado, ampliamente desarrollado tierra adentro, a cuyo pie se extiende un segundo todavía en proceso de emersión<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> **Dr. Martin Williams.** Geoquímica y Medio Ambiente. Algunas aplicaciones de la información geoquímica de la Cordillera Occidental, Pág. 33-34.

<sup>9</sup> **Martínez Briones Carlos.** Ante Proyecto de Estudio de Muestras Minerales de la Zona de Ponce Enrique para mejorar su Beneficio, Pág. 30.

### 2.1.3. ESTRUCTURA GEOLÓGICA

Dentro del Distrito Azuay hay 3 órdenes de fallas, Fig. 3 y Fig. 6:

1. Estructuras regionales de rumbo andino que representan límites de terrenos litotectónicos mayores y son el principal control de los patrones magmáticos, metalogénicos y sedimentarios.
2. Fallas transversales mayores de rumbo E-W y NW-SE que subdividen los terrenos en bloques caracterizados por diferentes niveles de erosión y por tanto determinan en gran medida la conservación de los sistemas de mineralización.
3. Estructuras subordinales N-S, NNE-SSE que frecuentemente controlan la situación y/o alojan la mineralización.

Las zonas de falla de rumbo Andino o Cordillerano (NNE) de W a E son Pallatanga-Bulubulu, Girón y Baños.

El sistema de Fallas Bulubulu, llamado en el S el Lineamiento Chaucha-Río Jerez (Pratt et al, 1997), es el límite tectónico entre los

terrenos de Chaucha y Pallatanga. Al N del Distrito Azuay el Sistema de Falla Bulubulu converge con la Falla Multitud del Sistema de Fallas Pallatanga (McCourt et al., 1997). El margen W de una línea de retazos de basamento metamórfico es una falla inversa vergente al W de una línea, [Fig. 2](#). Una estrecha banda de la Unidad Pallatanga ha sido levantada dentro de la zona de falla y superpuesta a la cobertera del Grupo Saraguro inferior. Más al S, esta estructura parece bifurcarse con la estructura principal continuando como un cinturón de buzamientos anómalamente altos hacia el E en las tobas del Grupo Saraguro que se extiende desde Narihuiña a través de los depósitos de brechas polimetálicas con oro de Tres Chorreras y Guabisay hasta Uzhcurrumi y otra estructura curvilínea de rumbo NE que forma la Falla de la Tigra. Pratt et al. (1997) argumentan que a partir de las relaciones de campo se puede deducir que esta falla fue activa hasta el final del Oligoceno. Las facies de las volcanitas miocenas cambian al atravesar este límite tectónico y la situación de las chimeneas de brechas relacionadas con intrusiones, de edad probable miocena, sugieren que continuó siendo activa al menos durante el Neógeno Inferior.

El Sistema de Fallas Girón es aún activo e incluye pliegues apretados, fallas inversas y cabalgamientos de dirección N a NE y yuxtapone el Terreno Chaucha con el Terreno Alao. Más al S converge con la Falla de Baños en el sector donde es conocida como la Falla de Las Aradas. Hacia el N de esta área también es conocida como la Zona de Falla de Peltetec. La Falla de Girón es esencialmente una estructura de falla inversa buzando al SE que cabalga las capas de Sacapalca y Saraguro sobre las Andesitas de Santa Isabel y el Grupo Ayancay. El Anticlinal de La Cría ha sido interpretado como un pliegue de propagación sobre un cabalgamiento ciego vergente al NW. El Sinclinal de Yaritzagua es vergente fuertemente al NW con un flanco E vertical a volcado. En el extremo S del Grupo Ayancay, el Sistema de Fallas de Girón se une con los cabalgamientos vergentes al E del Sistema de Fallas del Jubones.

El Sistema de Fallas de Baños, que en el S ha sido llamado la Falla de Catamayo, junta las Andesitas de Sacapalca del Terreno Alao, con las rocas metamórficas de la Cordillera Real. En el área de Catamayo la estructura es una falla inversa vergente al W, cabalgando los metasedimentos de la División Loja sobre las Andesitas de Sacapalca y la Formación Catamayo. Más al N, la falla

tiene buzamiento fuerte al W y Kennerley (1973) la intuyó como una falla normal de borde de graben. Se manifiesta como una zona de cizalla de primer orden dentro de las rocas metamórficas, pero a diferencia de la Falla de Girón es difícil de trazar bajo la cobertura cenozoica. No obstante, la reactivación cenozoica se infiere de la localización aparente de la cuenca miocena de Nabón en el lado N de la línea proyectada de esta zona de cizalla. Los indicadores cinemáticos y las lineaciones de estiramiento mineral indican cabalgamientos dirigidos al E tempranos (pre-cenozoicos) que posteriormente pasaron a movimientos dextrales (Litherland et al., 1994).

El Cinturón de Gañarín, de dirección NE puede ser seguido desde Zaruma en el S hasta el centro volcánico de Quimsacocha. Comprende una serie de fallas sindeposicionales que ejercen un importante control del volcanismo regional y la metalogénesis. Esta estructura es paralela al segmento Cuenca-El Cisne del Sistema de Fallas de Girón y puede constreñir el lado W de la Cuenca de Cuenca.

Las fallas transversales importantes de dirección E-W a ESE incluyen los Sistemas de Fallas de Piñas-Portovelo y Jubones en el

Terreno Chaucha y Río Margarita, Río Tenguel, Río Chico y Quebrada Peredones en el Terreno Pallatanga. Otras fracturas E-W pasan a poca distancia al N del prospecto Beroen<sup>10</sup>.

El Sistema de Fallas Piñas-Portovelo yuxtapone los estratos descendidos de Saraguro en el N con el Complejo Metamórfico de El Oro, Pratt et. (1997) ha estimado un desplazamiento vertical de al menos 3 km entre Piñas y Zaruma. No obstante, algunos segmentos del sistema de fallas son cabalgamientos hacia el S, buzando al N, junto con retrocabalgamientos subordinados. Las estructuras paralelas en el bloque de techo del sistema de fallas pueden haber controlado el emplazamiento de los granitoides Paccha. Una extensión de la falla hacia el E se junta con el Sistema de Fallas de Girón.

El sistema de Fallas de Jubones yuxtapone los basaltos de la Unidad Pallatanga con el Complejo Metamórfico de El Oro y marca el límite S del Terreno Pallatanga. Dentro del Terreno Chaucha subdivide en el bloque (o Sub-distrito) de El Oro del Sub-distrito Pucará-Alausí, caracterizado por los depósitos epitermales, que se extiende al N hasta la discontinuidad Pallatanga-Chanchan. A lo

---

<sup>10</sup> Este prospecto está localizado a unos 50 km al W de Cuenca y 10 km al SE de San Felipe de Molleturo en el Terreno Chaucha de la Cordillera Occidental.



largo de gran parte de su longitud es interpretado como una falla inversa vergente al N o un cabalgamiento, pero también hay evidencia de movimiento senestral (Pratt et al., 1997). El sistema de fallas de curva al S en Uzhcurrumi donde forma el contacto entre las Andesitas de Santa Isabel y el basamento cubierto por Saraguro; un descenso mínimo del bloque N de 1 km. Más al E, la falla se transforma en un cinturón de cabalgamientos vergentes al N y E pobremente reflejado en las imágenes remotas pero bien expuesto en el terreno. En este sector el Grupo Saraguro cabalga sobre el Grupo Ayancay.

Ninguna de estas fallas de rumbo ESE dentro del Terreno Pallatanga en el NW del área parece tener un desplazamiento mayor y mueren rápidamente en los estratos del Grupo Saraguro más joven. La Falla de Río Chico, en el campo minero San Gerardo, está rellena de serpentinita, y es interpretada como un cabalgamiento inicial vergente al NE que localizó posteriores movimientos subverticales senestrales en dirección y extensión.

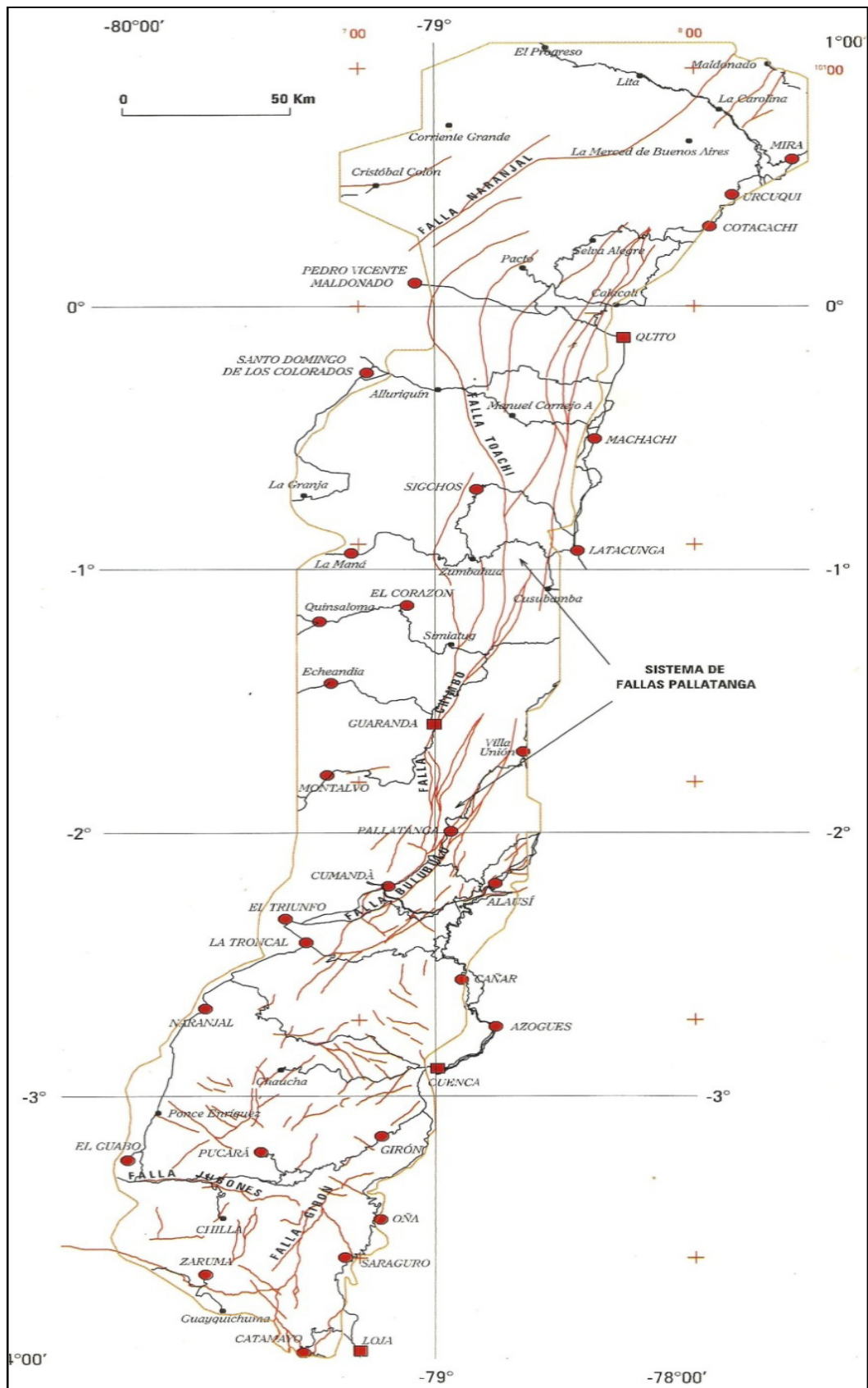


Fig. 6. Estructura geológica simplificada de la Cordillera Occidental.  
(Fuente: PRODEMINCA).

#### 2.1.4. MINERALIZACIÓN

El emplazamiento tectónico de los Andes conduce a varios estilos de mineralización metálica. En la Cordillera Occidental, por lo menos 70 prospectos, principalmente dentro de los distritos mineros de Azuay y La Plata, relacionados directamente con la actividad magmática y/o fallas; éstos han sido explotados o se conoce que contienen oro, cobre u otros metales comerciales. Estas ocurrencias conocidas pueden ser clasificadas por sus características físicas y/o por su temperatura de depositación de mena. Este tipo de distinciones es informativo, no solo en relación al tamaño, grado y composición del cuerpo mineralizado, sino también a las implicaciones ambientales de su explotación. Un entendimiento de los principales estilos de mineralización encontrados a lo largo de la Cordillera Occidental es importante para los geólogos económicos como para los planificadores ambientales.

Se han reconocido los siguientes tipos de mineralización, [Fig. 7](#):

1. Depósitos relacionados con pórfidos, stocks de riolita a andesita (microdiorita) porfiríticos y no porfiríticos, comúnmente en complejos intrusivos (ej. Gaby, Fierro Urcu).

2. Depósitos epitermales asociados con calderas, fracturas regionales y stocks de riolita del Cinturón Gañarín (ej. Gañarín, Quimsacocha).
  
3. Depósitos mesotermiales, vetas, brechas y diatremas<sup>11</sup> conteniendo turmalina, mineralizados con metales base (Cu, Pb, Zn) y Au (ej. Tres Chorreras, La Playa. La Tigra).
  
4. Depósitos combinados tipo epi-mesotermiales, vetas localmente ricas en oro con un contenido variable de metales base (ej. Zaruma, Portovelo, Bella Rica).
  
5. Sulfuros masivos, probablemente de origen exhalativo de baja temperatura (ej. San Fernando) (UNPD, 1969).

---

<sup>11</sup> Es una chimenea volcánica producida por un proceso eruptivo violento.

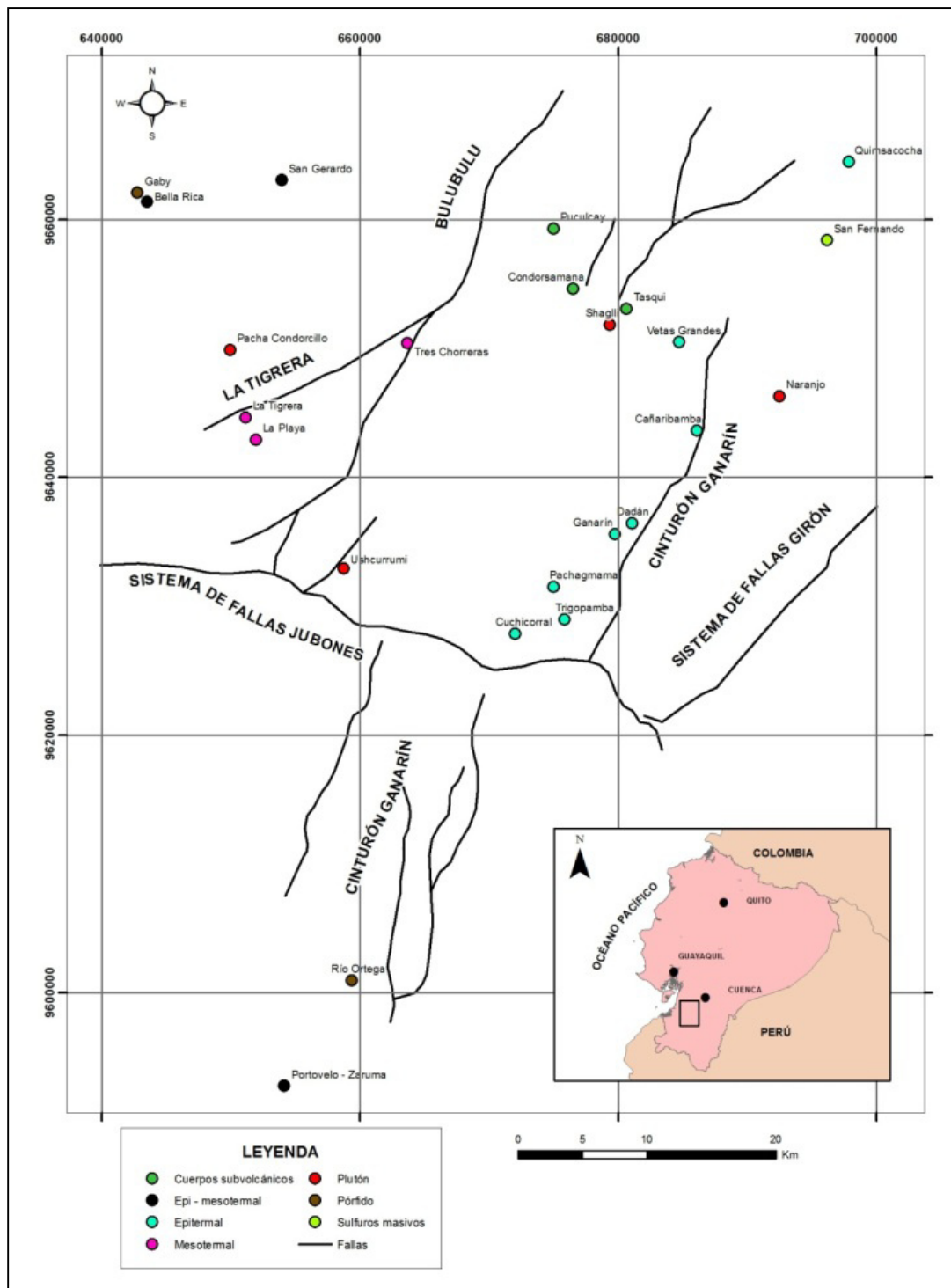
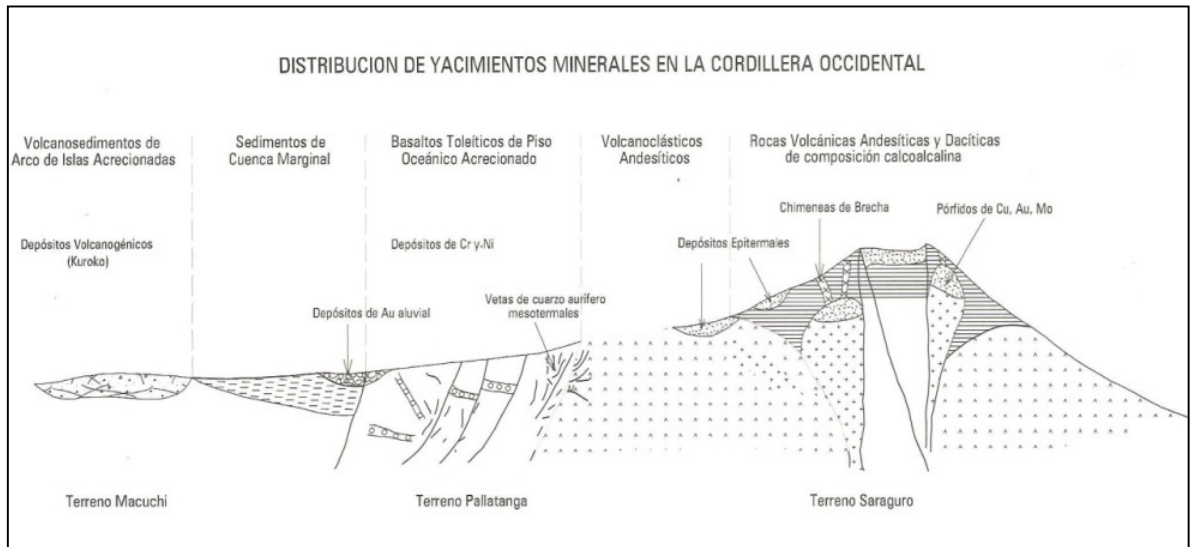


Fig. 7. Mapa parcial del Distrito Azuay, ubicando los prospectos mineros de la Cordillera Occidental entre 3° – 4° S. (Fuente: Autor)

La Fig. 8, muestra el ambiente tectónico dentro del sistema de arco y la metalogenia que se asocia a la Cordillera Occidental y la mineralización asociada con plutones y cuerpos subvolcánicos.



**Fig. 8.** Mineralización asociada con zonas de subducción de margen continental, ilustrado dentro del contexto litoestratigráfico de la Cordillera Occidental del Ecuador. (Fuente: PRODEMINCA).

Los sulfuros masivos volcanogénicos que incluyen menas de tipo Kuroko se forman en ambientes de piso oceánico, plataformas y arcos de isla y reflejan precipitación de sales metalíferas sobre el piso oceánico. Los márgenes continentales volcánicamente activos son el único ambiente en el cual pueden ocurrir depósitos de tipo porfirítico de Cu-Mo-Au, reflejando la permeabilidad de fluidos silícicos conteniendo metales durante el emplazamiento de complejos intrusivos de alto nivel dentro de la corteza superior. Los

depósitos porfiríticos a menudo actúan como alimentadores para las chimeneas de brecha de alto nivel y sistemas de vetas epitermales en terrenos volcánicos de margen continental. Los últimos incluyen metales precipitados de fluidos hidrotermales a temperaturas bajas como 130°C y son generalmente ricos en metales preciosos en relación a metales base.

## 2.2. GEOLOGÍA LOCAL

El Campo Mineral Ponce Enríquez ubicado dentro del Subdistrito Machala-Naranjal, en la parte occidental del Distrito Azuay, es conocido por sus depósitos de Cu-Au-Mo en pórfidos y en vetas, brechas y stockworks epi-mesotermiales desarrollados dentro de las rocas de caja volcánicas y que están espacialmente relacionados con pórfidos<sup>12</sup>. Es una zona acrecionada (Fig. 8) propicia para la búsqueda de yacimientos metálicos de origen volcánico o sulfuros masivos estratiformes, depósitos filoneanos de alta temperatura (epi-mesotermal).

Alrededor del Campo Mineral Ponce Enríquez ocurre un conjunto predominante de rocas volcánicas, andesitas y basaltos, diabasas, brechas, todas estas rocas de la **Unidad Pallatanga (Basaltos Bella Rica)**. Sin embargo, la exposición típica en los frentes de trabajo es de basaltos verdes, dolerita, y hialoclásticas con stockworks irregulares de epidota, cuarzo y clorita que no sobrepasan los 20 mm de espesor en sus vetillas; zonas de alteración de epidota son comunes (indicativo de mineralización) y alcanzan espesores de 50 mm. Adicional a ello, las rocas tienen una aparente susceptibilidad magnética.

---

<sup>12</sup> Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador - Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real, Pág. 107.



El dominio litológico principal son rocas volcano-sedimentarias de la Unidad Pallatanga. Entre ellas andesitas porfiríticas y diabasas afaníticas poco alteradas con intercalaciones de pequeños paquetes sedimentarios. Además, andesitas y diabasas que han sido hidrotermalmente alteradas y en general fuertemente propilitizadas. Sobre el basamento se encuentran depósitos aluviales de pie de monte constituido de arcillas, arenas y gravas, conjuntamente con depósitos gravitacionales heterogéneos. La roca de caja está constituida por lavas de composición intermedia a básica y rocas volcanoclásticas e intrusiones volcánicas contemporáneas.

La mineralización y alteración hidrotermal aparecen relacionadas con una secuencia basáltica, **Basaltos de Bella Rica**, de la Unidad Pallatanga de más de 1 km de espesor intruido por varios cuerpos de cuarzo-diorita a micro-tonalita porfídica (ej. Gaby, Guadalupe, Papa Grande) de edad Terciario Tardío ([Fig. 9](#)). Hacia el E, esta unidad está cubierta discordantemente por rocas volcánicas calco-alcalinas sub-aéreas del Grupo Saraguro de edad Terciario Medio-tardío.

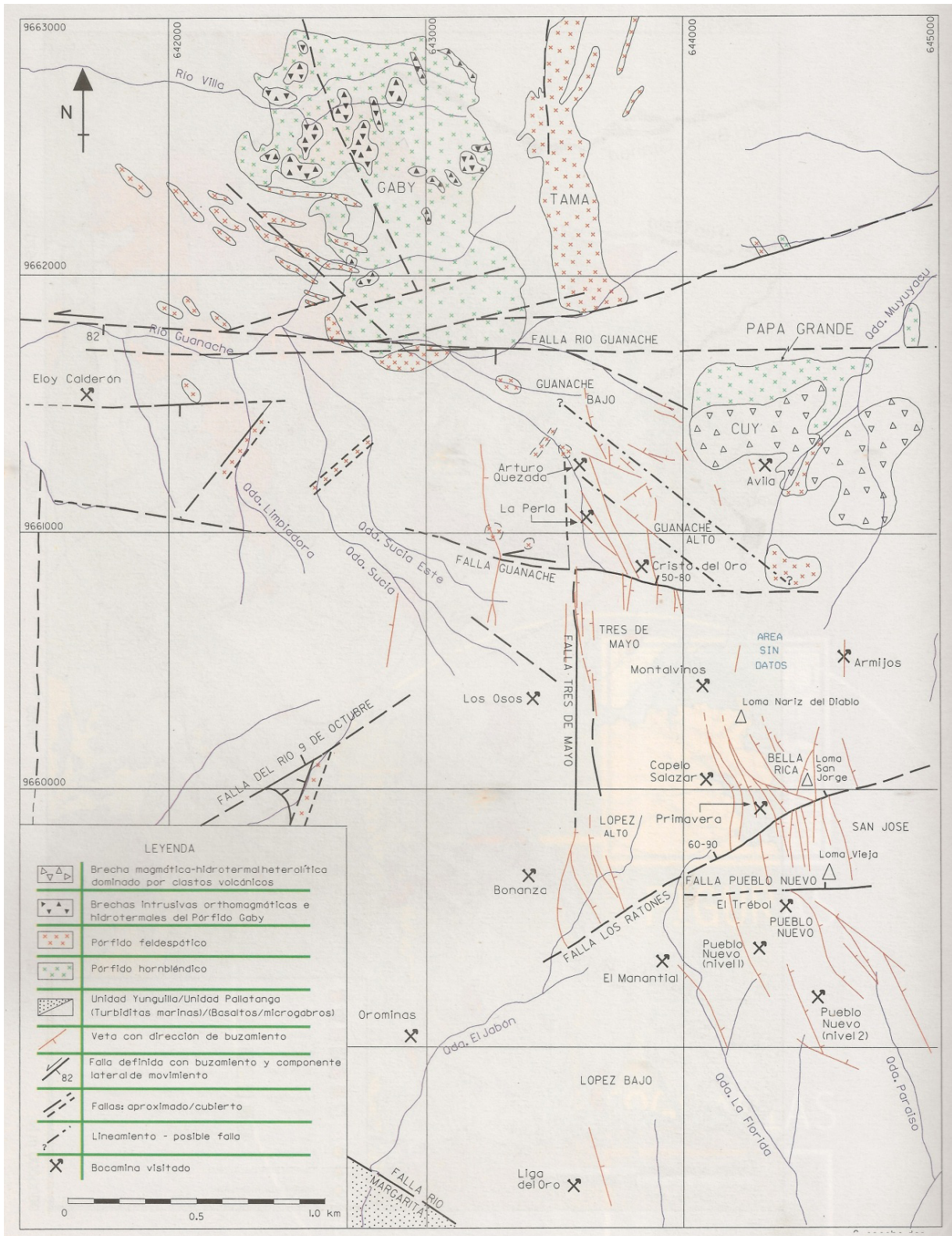
El sistema de fisuras que constituyó el origen de la mineralización, se originó muy probablemente como fracturas de tensión dirigidas aproximadamente N-S, causadas por los movimientos horizontales

(dextrales) de una falla regional, La López (Falla Río Margarita), dirigida NW-SE (Fig. 10 y Fig. 11). Esta misma falla, por sus también importantes movimientos verticales, divide el área en sus dos segmentos estructurales principales, separando el Grupo Puyango<sup>13</sup> al NE, de un basamento de rocas metamórficas más antiguas al SE (Misión Belga, 1996).

La pirita diseminada y stockworks de pirita son característicos en el Campo Mineral Ponce Enríquez (Bella Rica). El análisis de láminas delgadas muestra una alteración propilítica. Hacia el pórfido Gaby (Fig. 10), se observan cavidades rellenas de turmalina, epidota e incluyen sulfuros.

---

<sup>13</sup> Según KENNERLEY (1973) el Grupo Puyango tiene varios de miles de metros de grosor y contiene volcánicos. Los sedimentos están divididos en cuatro formaciones en base a los cambios de fases. Estas son: Formación Zapotillo, La Formación Ciano, La Formación Ambin y La Formación Progreso. Sin embargo, esta clasificación en la actualidad ya no es utilizada, pero la Misión Belga cuando hizo sus estudios en la zona la tomó para su informe.



**Fig. 9.** Mapa geológico del Sector Gaby - Bella Rica, Campo Mineral Ponce Enríquez. Mapa basado en los mapas de CODIGEM-AGCD (1993), Zappa Resources/Cambior/Prominex (1996) y Ecuadorian Minerals Corporation (1997).

El área está limitada por una serie importante de fallas de rumbo NNW: La Falla Río Margarita al S y La Falla Río Tenguel al N. Una tercera falla principal con relleno de serpentina es el Río Chico, que se observa en el área entre San Gerardo y Tenguelillo. En la zona varios lineamientos se asocian con un sin número de vetas y fallas, incluyendo La Falla 3 de Mayo con rumbo N. Hay también 3 importantes fallas transversas (E-W): La Falla Guanache, Los Ratones y Pueblo Nuevo (Fig. 9 y Fig. 11).

La mineralización característica de la zona de estudio es la de vetas como rellenos de fracturas abiertas y fallas, generalmente paralelas con un rumbo NNW-SSE y un buzamiento predominante hacia el E. El sistema se extiende 3 km en dirección al rumbo y una profundidad conocida de 400 m dentro de la concesión (Misión Belga, 1996), y a partir de allí por lo menos 2 km más hacia el N.

En el área de Bella Rica a través de estudios y trabajos realizados (Misión Belga, BGS) existen 7 vetas bien definidas con una dirección N-S, que van paralelamente separadas de una distancia de 60 m a 100 m de ancho.



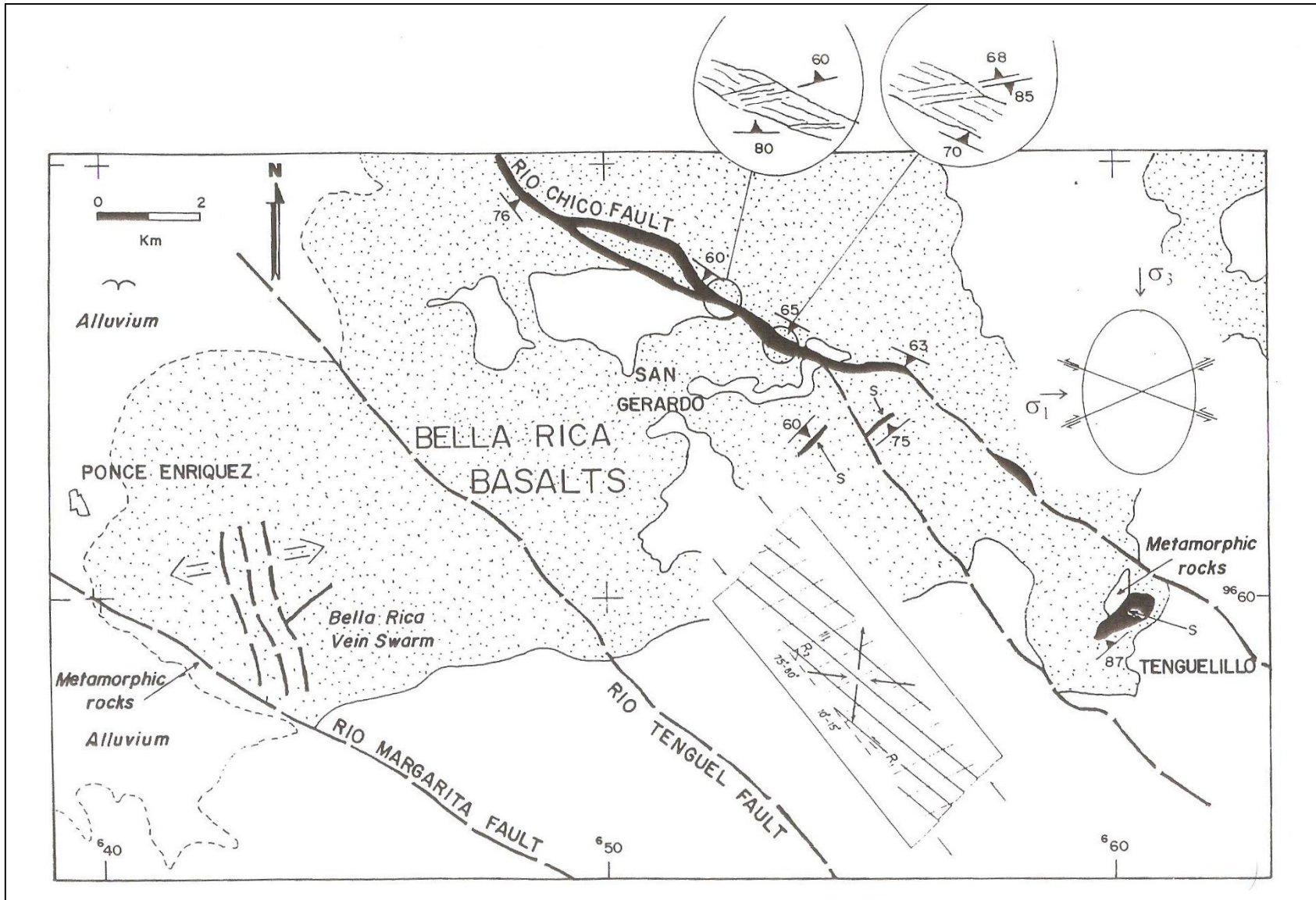


Fig. 10. Geología y modelo tectónico de las fallas alrededor de Ponce Enríquez.

(Fuente: Memoria técnica de Misión Británica).

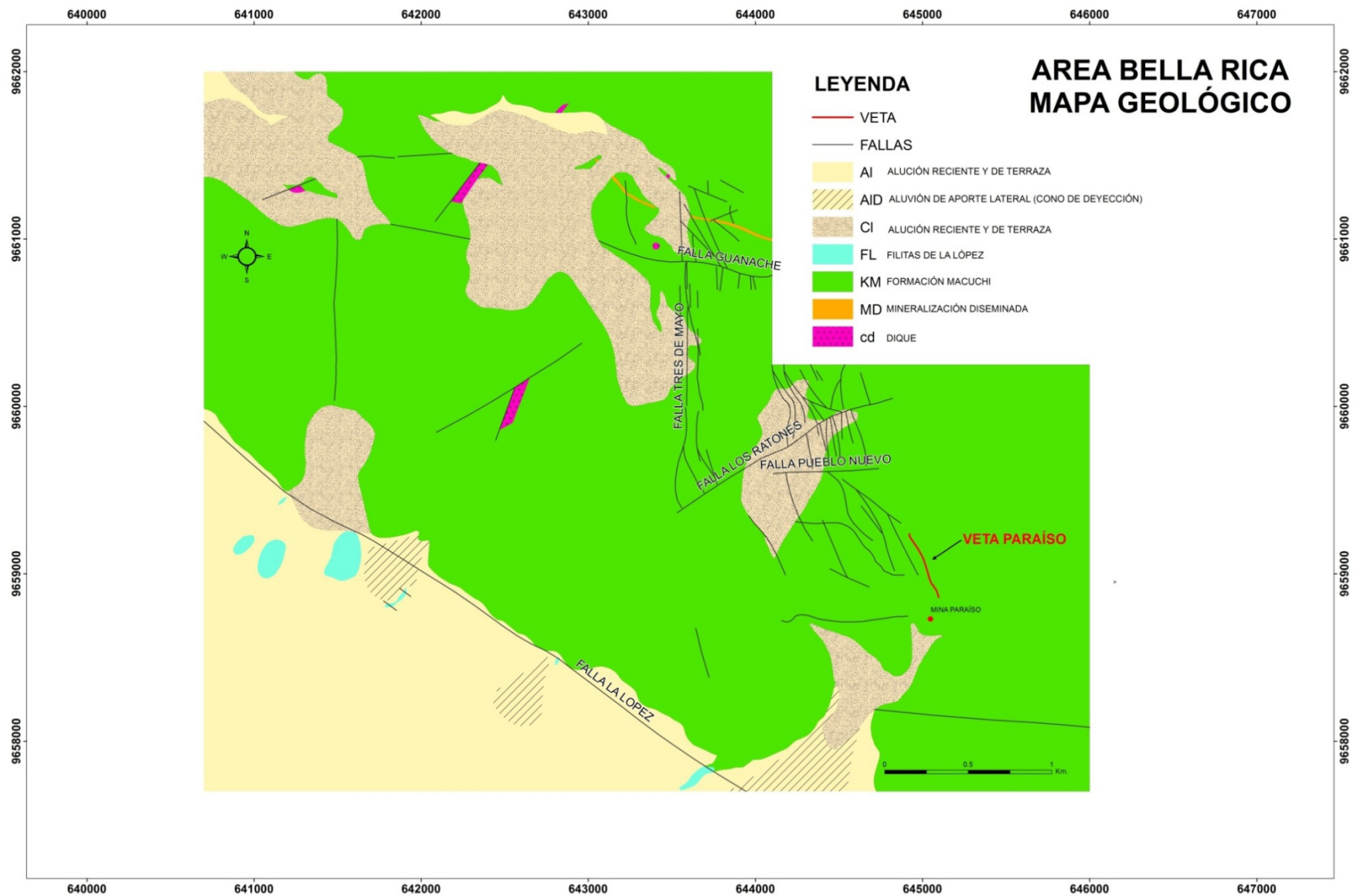


Fig. 11. Mapa Geológico, Área Bella Rica. Misión Belga (1996).

(Fuente: Autor)

### **2.2.1. GEOMORFOLOGÍA**

El relieve del área de estudio para la presente tesis es muy accidentado, con fuertes pendientes modeladas por tectonismo, erosión fluvial y eólica, formando profundos valles que se alternan con picos elevados, creando desniveles que varían entre los 1200 a 3200 m.s.n.m. en el flanco oriental y entre 600 a 2200 m.s.n.m. en el flanco occidental.

El contacto con la llanura aluvial y las terrazas bajas de la costa presentan pendientes moderadas a fuertes. Las alturas superficiales se sitúan entre 80 y 1129 m.s.n.m.

En la región, la zona baja o planicie constituye una franja bastante angosta con respecto a la línea de costa, la cual está destinada a la agricultura y ganadería; el cultivo predominante es el cacao y el banano. La mayor parte de las fincas pequeñas tienen asociados de cacao, banano, cítricos y otras frutas; además maíz, yuca y pequeñas áreas de pasto.

A los alrededores se encuentran dos sub-cuencas hidrográficas principales; la del Río Siete al Norte, y la del Río Pagua al Sur<sup>14</sup>. El

---

<sup>14</sup> Coberturas de Sub-cuencas Hidrográficas del SIGAGRO.

Río Siete es el más cercano e importante, sus afluentes principales son los Ríos Nueve de Octubre, Margarita, Vainilla y Guanache. La Cuenca de Río Siete está localizada en una franja estrecha de la costa, de topografía plana, desembocando directamente sus aguas unos pocos kilómetros más abajo al Canal de Jambelí (Océano Pacífico) y como afluente principal el Río Ganas.

Los ríos que se encuentran por el sector son los siguientes: Tengel, Pagua, Bonito, San Jacinto, siendo el Ganas y el Siete los que limitan de Norte a Sur el distrito minero, los otros se encuentran a sus alrededores.

El Cerro Bella Rica es el principal lugar de explotación y no muy lejos las estribaciones de la Cordillera de Mollopongo, sistema montañoso ubicado al NE de la Provincia del Azuay.

En la zona de Ponce Enríquez existen 2 zonas naturales: la zona media alta comprende la Cordillera de Mollopongo (hasta 1000 m.s.n.m.) con pendientes y una topografía muy irregular dominada por pastos y bosques; sin embargo, la explotación minera se concentra en este lugar.



## **2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

### **2.2.2.1. Marco Tectónico**

Son terrenos oceánicos fragmentados por sobrecorrimientos de bajo ángulo con buzamientos SSW, fallas de rumbo NW-SE (Río Tenguel y Río Margarita), Fig. 10, los cuales limitan el campo aurífero de Bella Rica (Componente de movimiento dextral pre-Cenozoico y senestral durante el Cenozoico), E-W y NE-SW (movimiento normal-senestral) que separa dominios de diferentes niveles estructurales, NNE-SSW a lo largo de la cual se han desplazado diques de pórfido y de N-S a NNW-SSE con movimiento normal-dextral los cuales forman el sistema de vetas.

### **2.2.2.2. Geometría**

Los sistemas de vetas mineralizadas tienen un rumbo NNW y buzamiento hacia el E ( $28^{\circ}$ - $82^{\circ}$ ) que se extiende 4 km de largo y alcanzan una anchura de 1.5 km. La mayoría de vetas tienen una dirección N-S y son verticales o sub-verticales, pero pueden variar hasta WNW-ESE con inclinaciones bajas a moderadas y muestran inflexiones abiertas en forma de Z en el sector al N de La Falla Rio Guanache (E-W), lo cual muestra un nivel más erosionado y profundo. Las vetas son

relativamente escasas y localizadas adentro y a lo largo de los contactos.

Existe también una posible asociación con una estructura circular, de unos 5 km de diámetro, la que constituye el rasgo morfológico dominante del área Bella Rica. Ésta podría representar la parte profunda de una estructura de colapso volcánico, probablemente relacionada con un pequeño plutón situado a poca profundidad al N o NE fuera del área Bella Rica, el que correspondería a los diques de microcuarzodiorita.

### **2.3. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

Desde hace varias décadas el Campo Mineral Ponce Enríquez, Bella Rica y San Gerardo, es uno de los yacimientos minerales más importantes del país. La mineralización es de tipo vetiforme con sulfuros complejos de Cu, Pb, Zn, As, con oro libre (raro). A eso se añade el potencial de yacimientos de tipo aluvial.

Su descubrimiento se debió a las torrenciales lluvias ocasionadas por El Fenómeno del Niño en 1983, las cuales dejaron expuestas la presencia de vetas de cuarzo con oro en la roca que anteriormente estaban

cubiertas por vegetación, lo cual trajo consigo un nuevo “boom” minero y una explotación totalmente desordenada.

A partir de trabajos de exploración desarrollados por empresas mineras en los años 70, pequeños mineros (artesanales) fueron descubriendo vetas de oro y abriendo galerías de dimensiones limitadas que determinaron el surgimiento descontrolado de varios asentamientos mineros que reportaron valores de oro de hasta 150 gramos por tonelada en sectores poco profundos.

La formación de cooperativas mineras estuvo acompañada por la incorporación de pequeños capitales originados en el comercio y la agricultura, y el propio desarrollo de la actividad minera.

Si bien las cooperativas mineras mantuvieron su importancia en los años 80, en la década de los 90 sirvieron de base de una nueva forma de organización: las asociaciones mineras, es decir formas organizativas que partieron de las características básicas de las sociedades y cooperativas mineras basadas en relaciones de confianza mutua por parentesco, amistad, procedencia o experiencia previa. Con ello, surgen explotaciones más profundas y se empieza a incorporar el trabajo de ingenieros geólogos y de minas. Al mismo tiempo, se apreció una

diversificación de capitales hacia labores de beneficio que utilizan métodos de cianuración y una tendencia, por parte de algunos individuos, a reinvertir en actividades no necesariamente ligadas a la minería como son la agricultura, cultivo de camarones y turismo.

La producción histórica de oro del Campo Mineral Ponce Enríquez no es conocida. En el 2007, la compañía “C2C Gold Corporation Inc.” calculó un potencial de 1 a 1.2 millones de onzas de oro en una porción del depósito. Sin embargo, el potencial total debe rebasar los 2 millones de onzas de oro y su producción histórica debe haber generado un volumen del metal parecido, por lo que se convierte en otro coloso mineralógico a nivel mundial.

## **2.4. CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO**

### **2.4.1. POR SU TIPO DE MINERALIZACIÓN**

#### **2.4.1.1. MINERALOGÍA DE MENA**

Está dominado por pirrotina y/o pirita (Fig. 12) y localmente arsenopirita o calcopirita con menores cantidades de epidota, esfalerita, galena, hematita y trazas de molibdenita, tetraedrita, estannita, jamesonita, altaita, discrasita, hessita, telurios de Bi, bismuto nativo, marcasita, magnetita y raramente oro nativo.

Minerales secundarios de cobre incluyen cobre nativo, cuprita, calcosina, covelina, digenita y malaquita.



**Fig. 12.** Mineralización de diferentes vetas en la mina "Paraiso". En las fotografías se observa el dominio mineralógico de pirrotita y pirita. Sin embargo, también se identifica cuarzo-carbonato, zonas de cizalla (brechas) y diseminados.  
(Fuente: Autor).

#### **2.4.1.2. ROCAS ASOCIADAS**

Existen stockworks ([Fig. 13](#)), cuerpos de brecha intrusiva, ortomagmática e hidrotermal. Pequeños tachones y diques de pórfido hornbléndicos (Gaby, Papa Grande, etc.) y micro-

diorita con rumbo NE los cuales son apófisis<sup>15</sup> de los cuerpos principales.



Fig. 13. "Stockwork" con vetillas de carbonatos, cuarzo y epidota, atravesado por crucero del Proyecto Comimach.  
(Fuente: Autor).

#### 2.4.1.3. TEXTURA / ESTRUCTURA

Los sistemas de vetas mineralizadas (Fig. 14) se anastomosan (estrangulan) y forman abanicos imbricados (colas de caballo) y localmente dúplex<sup>16</sup> extensionales de escala métrica a decamétrica. Las vetas muestran estructuras de cinta con lentes de sulfuros masivos y reemplazamientos de inclusiones en la roca encajante.

---

<sup>15</sup> Vena o dique con forma irregular que parte desde un cuerpo ígneo más grande.

<sup>16</sup> Grupo de planos de cabalgamiento sintético que forman estructuras imbricadas en abanico limitadas por un cabalgamiento mayor.



Son vetas complejas de multi-etapa con deslizamientos y brechificación intermineral y recristalización. Hay rellenos de fisuras dilatados y ejemplos de coloformes, cavidades drusiformes y texturas de peine principalmente en las fases tardías. Rellenos e impregnaciones (diseminaciones y remplazamientos totales) de las matrices de las brechas hidrotermales. Stockworks de fracturas y vetillas finas de pirita asociado con las vetas y brechas en vecindad de los pórfidos.



Fig. 14. Vetas estranguladas y ramificadas con hastiales diseminados.  
(Fuente: Autor)

#### 2.4.1.4. MINERALOGÍA DE ALTERACIÓN

Se observa alteración potásica caracterizada por flogopita y biotita que está extensamente desarrollada en los pórfidos (Fig. 9), mientras que en las volcanitas este tipo de alteración está localizado dentro de brechas, stockworks y vetas

mesotermales solamente en las zonas próximas de las intrusiones. La alteración hidrotermal más notable y pervasiva<sup>17</sup> es la propilitización (albita, actinolita, clorita, epidota, calcita y zeolitas) acompañada por pirita o pirrotina diseminada y en fisuras de stockworks. La turmalinización está asociada con las brechas, stockworks, fallas y vetas en los sectores de Guanache Alto y Guadalupe y próximos a los pórfidos (Fig. 9); también hay silicificación localizada especialmente en las mediaciones de las vetas.

#### **2.4.1.5. MINERALOGÍA DE GANGA**

En su mayoría cuarzo - carbonato (calcita >> dolomita), pirrotita, pirita, epidota, clorita, sericita-moscovita, biotita, turmalina, calcedonia, anquerita, smectita y baritina (solo en stockworks).

#### **2.4.2. POR SU MINERALIZACIÓN EN PROFUNDIDAD**

De acuerdo a la clasificación de Lindgren el yacimiento de la mina es de tipo epi-mesotermal y la mineralización podría alcanzar los 1000 m de profundidad.

---

<sup>17</sup> Una alteración pervasiva se refiere a aquella en que una roca está completamente alterada en todo su volumen.



La meteorización es fuerte en las vetas que cruzan la cumbre a una altura de 1100 a 1200 m.s.n.m. y a lo largo de las vetas de falla reactivadas a más baja altitud (900 m.s.n.m.).

### **2.4.3. POR SU POTENCIA EN VETA**

Las vetas del yacimiento por lo general muestran una potencia centimétrica y rara vez pueden sobrepasar 1 m de potencia. Contienen relleno de cuarzo, pirita, esfalerita, galena, oro nativo (raro), carbonatos. Ocupan generalmente la caja piso o techo de la estructura; sin embargo, su potencia no tiene ninguna relación con el grado de mineralización y leyes altas, pues se han registrado altas leyes en vetas de potencias de < 5 cm así como en vetas de > 50 cm.

# **CAPÍTULO III**

## **3. EMPLAZAMIENTO, CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y MINERALÓGICAS DE LA VETA “PARAISO”**

### **3.1. HISTORIA GEOLÓGICA**

El emplazamiento de la veta “Paraíso” en base al trabajo de campo se interpreta que se produjo a través de un sistema de fallas y fracturas preminerales, las cuales formaron los canales por donde circularon las soluciones causantes de la mineralización y alteración.

El fracturamiento continuó durante la formación de la veta, ocasionando la reapertura y resquebrajamiento de las vetas tempranas y la inclusión, en ellas, de fragmentos de las rocas de caja en ciertas zonas de la veta. Este proceso estuvo acompañado por la formación de notables texturas de relleno de espacios abiertos.

Las alteraciones hidrotermales como silicificación, argilización y propilitización que se han podido observar en el interior de la mina han sido una sólida base para la interpretación genética y control estructural predominante del foco mineralizante, el cual sirve como complemento fundamental en las futuras labores de exploración de la veta y el resto de la mina.

### **3.2. VETA Y CAJA**

Las rocas huéspedes de la veta “Paraíso” son paquetes de lavas que comprenden: diabasas, andesitas, brechas y microbrechas, de color verde producto de propilitización, con relleno (vetillas) de clorita, epidota, carbonatos y de sílice; además de sulfuros diseminados en varias zonas de la veta.

El grano es generalmente fino, más o menos grueso y localmente medio, en donde se puede observar una silicificación y una carbonatación, que se marcan como consecuencia de una decoloración progresiva de las lavas de verde a blanco amarillento.

En ciertas zonas de la veta se han desarrollado halos de alteración de ancho variable entre 0.10 a 2 m, en los cuales gran parte de las rocas están desde parcial a totalmente alteradas (Fig. 15).



**Fig. 15.** Alteración centimétrica de la veta "Paraíso" en el Nv. 5.  
(Fuente: Autor)

El mineral de ganga comprende cuarzo, calcita y sulfuros, principalmente pirrotita. Se puede observar que el mineral de ganga puede estar combinado o en ciertas zonas de la veta ser completamente único. Esta variedad ocurre en profundidad y a lo largo de veta (Fig. 16).



Fig. 16. Mineralogía característica de veta "Paraíso" en diferentes niveles de mina.  
(Fuente: Autor).

### 3.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La veta "Paraíso" es una estructura epitermal emplazada en rocas volcánicas con mineralización de Au-Ag. Se ubica en la parte SSE del sistema de vetas de la mina, tiene un rumbo predominante NNW y buzamiento subvertical variable en todos niveles, con un promedio de entre 80° E.

Consiste en un ramal independiente de la veta 3 Ranchos, veta principal de la mina, intersectadas en el nivel 4 (en principio), pero la intersección

de estas vetas se la identifica en todos los niveles, excepto el 7 que está en exploración.

Esta estructura tiene su mayor desarrollo a la fecha en el nivel 4 logrando alcanzar una longitud de 500 m y 190 m en vertical. Los planes de exploración y desarrollo tienen como objetivo comunicar la veta hacia el S en el nivel 6 con el Proyecto Comimach, pues la mineralización continúa en profundidad.

El mapeo e interpretación geológica de la veta ha reconocido que forma parte de un rosario o flor positiva, pues las fallas interiores se comportan como transcurrentes-inversas, las cuales además dan arreglos típicos de zona de cizalla, Fig. 17.

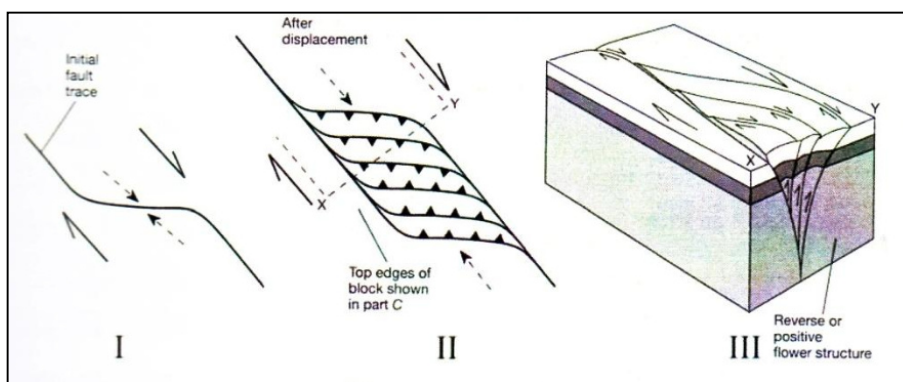
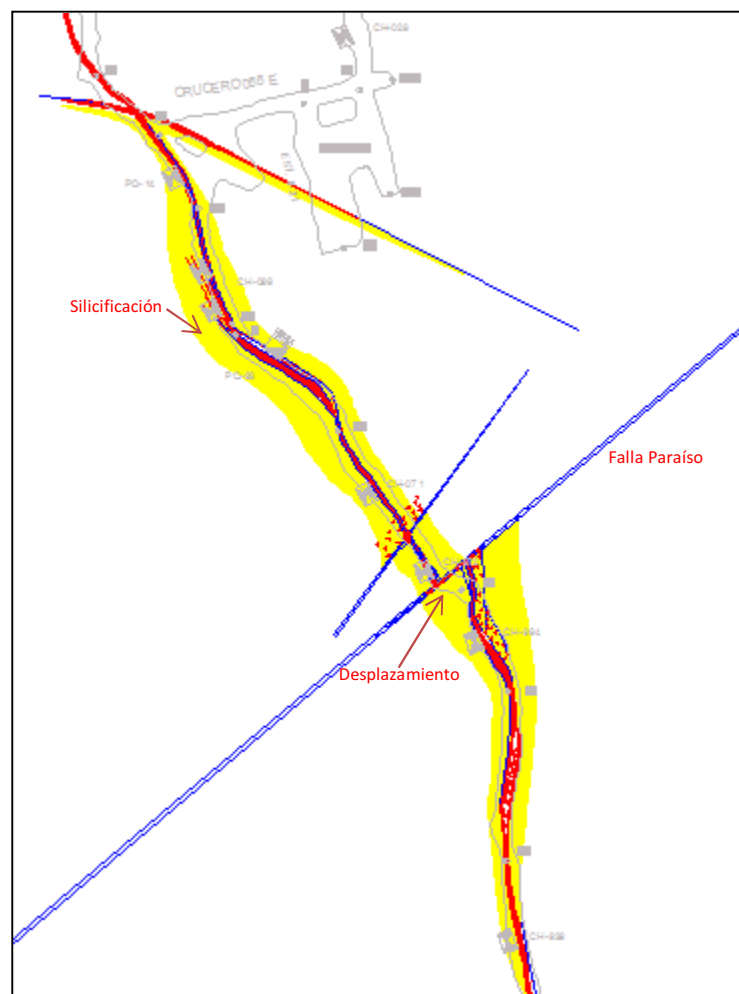


Fig. 17. Estructura tipo flor positiva. Interpretación de génesis de veta Paraíso.

(Fuente: Internet)

Una vez terminado el trabajo de campo se pudo observar que entre las estructuras sobresalientes está La Falla Paraíso, falla transcurrente en forma de Z, con rumbo N55°E y buzamiento 75° NW en el nivel 4 y 59°SE en el nivel 6; en el nivel 5 aún no se la ha cortado, pues en ese nivel los trabajos están paralizados. La falla desplaza la veta “Paraíso” hasta 1 m ocasionado una leve inclinación de 10° W. Además, existe una silicificación a los alrededores de la falla ( Fig. 18).



**Fig. 18.** Falla Paraíso, nivel 6. Desplazamiento transcurrente de la veta Paraíso por acción de la falla Paraíso.  
(Fuente: Departamento de Geología, Mina Paraíso).

Las fallas postminerales no tienen importancia, ya que sólo un sistema de fracturas subparalelo a la veta y otras transversales, con pequeño desplazamiento horizontal, ha sido observado a lo largo de la veta.

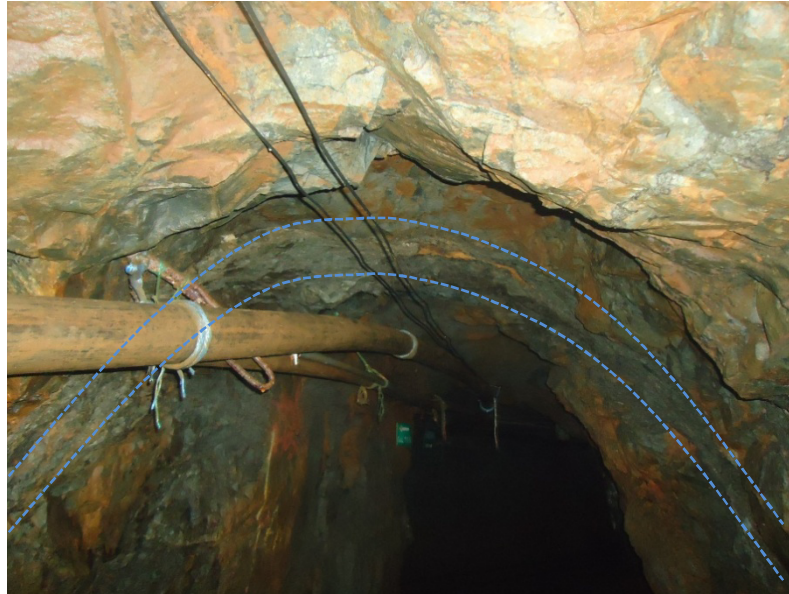


Fig. 19. Falla "Paraíso" en Gal. 211 S, Nivel 5.  
(Fuente: Autor)

### 3.4. ALTERACIÓN-MINERALIZACIÓN

La veta "Paraíso" se define como un depósito epitermal de baja sulfuración. En la [Tabla 2](#), se muestran algunas de las características macroscópicas típicas del depósito de baja y alta sulfuración.

Las características en la tabla se han mencionado en los capítulos anteriores, por lo que coincide con un depósito epitermal de baja sulfuración ([Anexo 3](#)).



En la veta “Paraíso”, la mineralización está reconocida a lo largo de 190 m, entre los 516 y 336 m de altitud, por lo que es de esperar la presencia de reservas en profundidad. P. Heald et al. (1987) definen unos desarrollos verticales para depósitos epitermales de baja sulfuración hasta 1 km de profundidad. Además, viendo la Fig. 20, el horizonte de deposición de metales base (Zn, Pb, Cu) en un yacimiento epitermal de baja sulfuración es más profundo que el de metales preciosos (Au y Ag) por lo que se podría recuperar esos minerales a futuro.

	ALTA SULFURACIÓN	BAJA SULFURACIÓN
<b>Controles de emplazamiento</b>	Fallas a escala regional o intrusiones subvolcánicas.	Cualesquiera fallas o zonas de fractura estrechamente relacionadas a centros volcánicos.
<b>Extensión de la zona de alteración</b>	Área extensa.	Generalmente bastante restringida.
<b>Alteración asociada</b>	Extensa alteración propilítica. Clorita: raramente.	Extensa alteración propilítica. Epidota y clorita: común.
<b>Geometría del cuerpo mineralizado</b>	Relativamente pequeño y equidimensional.	Tamaño variable y morfología tabular.
<b>Carácter de la mineralización económica</b>	Típicamente diseminada. Poco común como relleno de cavidades o porosidad.	Característicamente como relleno de cavidades. Típico relleno de filones en bandas comúnmente con brechificaciones. Hacia la superficie se presenta en stockwork o diseminada.
<b>Ganga de cuarzo</b>	De grano fino, masivo, originado principalmente por reemplazamiento; el cuarzo es residual (vuggy).	Cuarzo y calcedonia dispuestos en todo tipo de texturas primarias
<b>Otros minerales de la ganga</b>	Carbonatos: ausentes. Azufre nativo: suele estar presente rellenando cavidades.	Carbonatos: presentes, comúnmente calcita y rodocrosita. Azufre nativo: ausente.
<b>Metales predominantes</b>	Cu, Au, As (Ag, Pb)	Au, Ag (Zn, Pb, Cu)

**Tabla 2.** Tabla comparativa de depósitos epitermales de baja y alta sulfuración.

(Fuente: Autor).

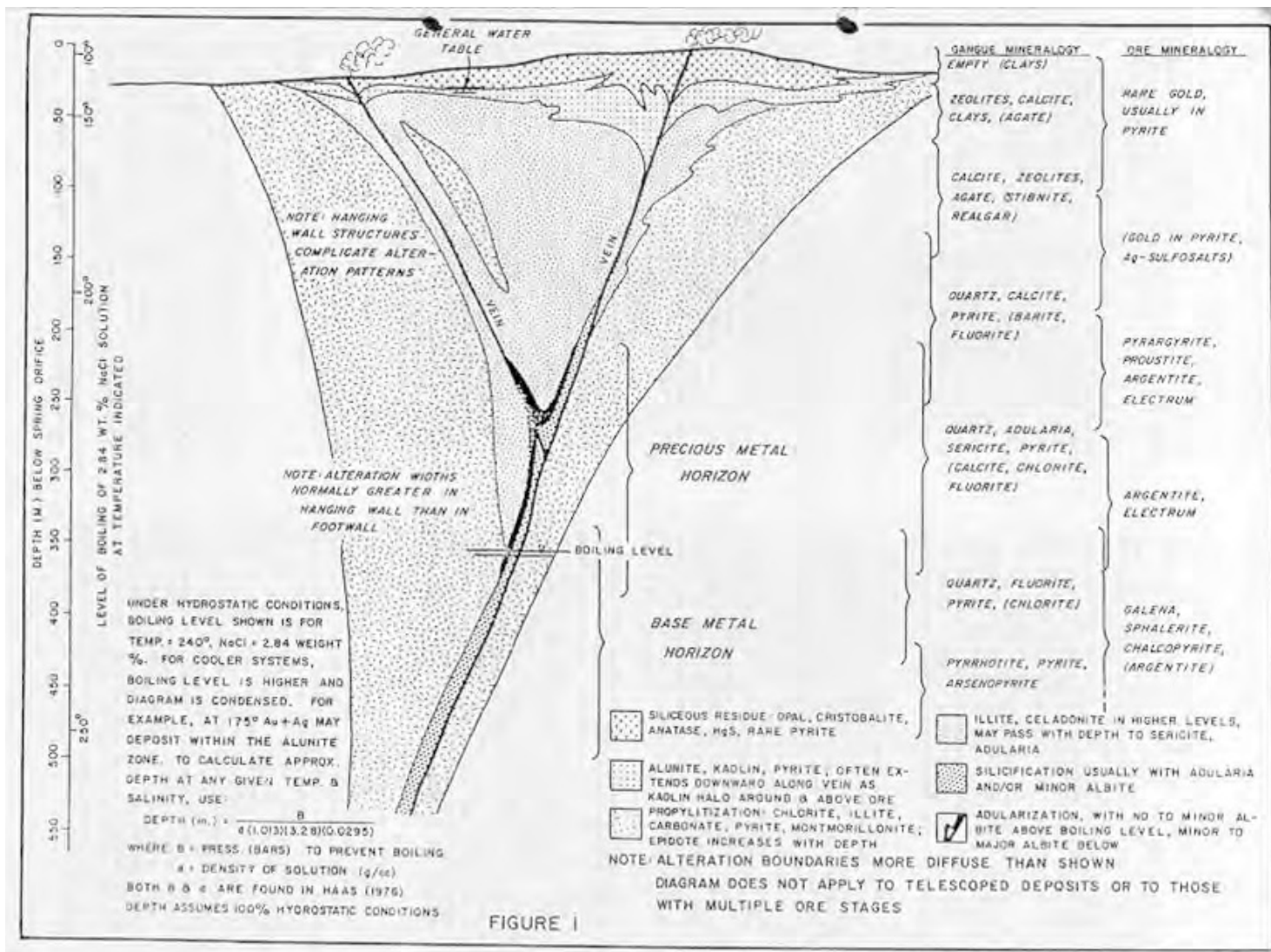


Fig. 20. Distribución típica de minerales de ganga y mena en un yacimiento epitermal. Tomado de Buchanan (1981).

(Fuente: Internet).

# **CAPÍTULO IV**

## **4. ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS**

### **4.1. ANTECEDENTES**

El crecimiento del ritmo de extracción y utilización de la materia prima mineral han ocasionado una revolución científico-técnica en la geología y la minería. Por tal motivo, los trabajos de búsqueda, exploración y evaluación geológica-económica de yacimientos minerales útiles, constituyen una de las tareas más importantes en las empresas mineras y el cálculo de reservas y recursos minerales útiles en una mina es un papel fundamental.

La estimación de reservas y recursos es una operación de alta responsabilidad para los profesionales pues se determina en gran medida

el valor industrial de un yacimiento mineral. Este cálculo puede ser realizado por métodos clásicos o modernos. En los primeros se utilizan valores medios o medias ponderadas para la estimación de bloques definidos convenientemente, por lo que su uso ha estado relacionado con problemas de precisión. Además, la utilización de métodos clásicos no se recomienda porque aun cuando permiten cuantificar las reservas a escala global, no son adecuados para la caracterización local de las reservas. En los segundos predominan los métodos geoestadísticos, los cuales consisten en el uso de técnicas de regresión, teniendo como premisa fundamental la realización de las estimaciones a partir de las características de variabilidad y correlación espacial de los datos originales.

## **4.2. RESERVAS DE MENA Y RECURSOS MINERALES**

Para desarrollar y evaluar activos mineros es necesario una plataforma común de conceptos claros y una nomenclatura estándar sobre criterios y prácticas que respalden los prospectos de exploración y explotación.

Dada la dificultad de establecer un modelo geológico para los yacimientos minerales y como su ley es de naturaleza variable, debe establecerse un límite por debajo del cual la sustancia de interés no

puede explotarse con provecho. Este límite depende de los avances de la ciencia, y por ello se dice que los recursos pueden sólo ser definidos en términos de una tecnología definida.

Hay sin embargo, quienes consideran que las posibilidades tecnológicas son ilimitadas y por tanto cualquier ley o contenido podrían hacer posible se clasificara una sustancia mineral como recurso.

Los términos, recursos y reservas minerales, son a menudo confundidos, pero desde un punto de vista geológico se entiende por recursos a un material que se sabe existe en la corteza terrestre o que de inferencia geológica bien documentada se considera probable que exista.

Las reservas se definen como una cantidad mucho más pequeña, que los recursos, de un material que puede ser producido con la tecnología actual y a los precios presentes. Se define las reservas como un material mineral que se considera explotable bajo las condiciones existentes incluyendo costo, precio, tecnología y circunstancias locales.

De esta manera, la definición queda aceptable a las economías dirigidas, mixtas y a las de libre empresa. La conversión de recursos en reserva

requiere ya sea de mejoras en la tecnología o de precios más altos o de ambos.

Para que una propiedad que se examina tenga algún valor, es preciso que contenga unas reservas mínimas de mena y la sustancia mineral pueda ser extraída y beneficiada hasta un producto útil. Por ello, es indispensable tener un conocimiento adecuado del tamaño, forma, posición y tenor del depósito que contiene la sustancia mineral.

Tradicionalmente se han clasificado las reservas siguiendo unas veces criterios geométricos y otras criterios que tienen en cuenta las relaciones espaciales; aspectos geológicos tales como hábito, tipo y mineralogía del depósito; fuente de los datos, grado de conocimiento geológico; y finalmente el tipo de razonamiento, inductivo o deductivo que ha sido utilizado en el análisis de los datos.

Para evitar la propagación de reportes geológicos sin sustento técnico, la comunidad especializada ha creado reglas de juego precisas para hacer la estimación de recursos y reservas mineras de manera aceptable para el mercado internacional principalmente bursátil con la aplicación del **Código JORC** (Fig. 21), y el uso de los servicios de profesionales calificados para la elaboración de dichos reportes.

Se denomina **Recursos Minerales** a aquellos volúmenes de mineral con su respectiva ley o contenido metálico que han sido estimados por medio de procesos de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones que pueden representar geoestadísticamente a un cuerpo mineralizado.

Los **Recursos Inferidos** son aquellos que tienen un bajo grado de confianza pues han sido inferidos a base de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones puntuales y aisladas que no pueden ser confirmadas en continuidad geológica y contenido mineral con los lugares más próximos, cercanos y en profundidad.

Los **Recursos Indicados** son aquellos que tienen un aceptable grado de confianza sobre la base de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones cuyo geoespaciamiento es de naturaleza considerable por lo que puede asumirse pero no confirmarse continuidad geológica y contenido mineral.

Los **Recursos Medidos** son aquellos que tienen un alto grado de confianza sobre la base de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones cuyo geoespaciamiento es lo

bastante cercano para concluir continuidad geológica y contenido mineral.

Además, en este contexto se denomina **Reserva Probable** a la fracción de los **Recursos Indicados** que es económicamente minable luego de la incorporación restricciones técnicas, ambientales, económicas, sociales y operacionales.

De igual forma se denomina **Reserva Probada** a la fracción de los recursos medidos que es económicamente minable luego de la incorporación de restricciones técnicas, ambientales, económicas, sociales y operacionales.

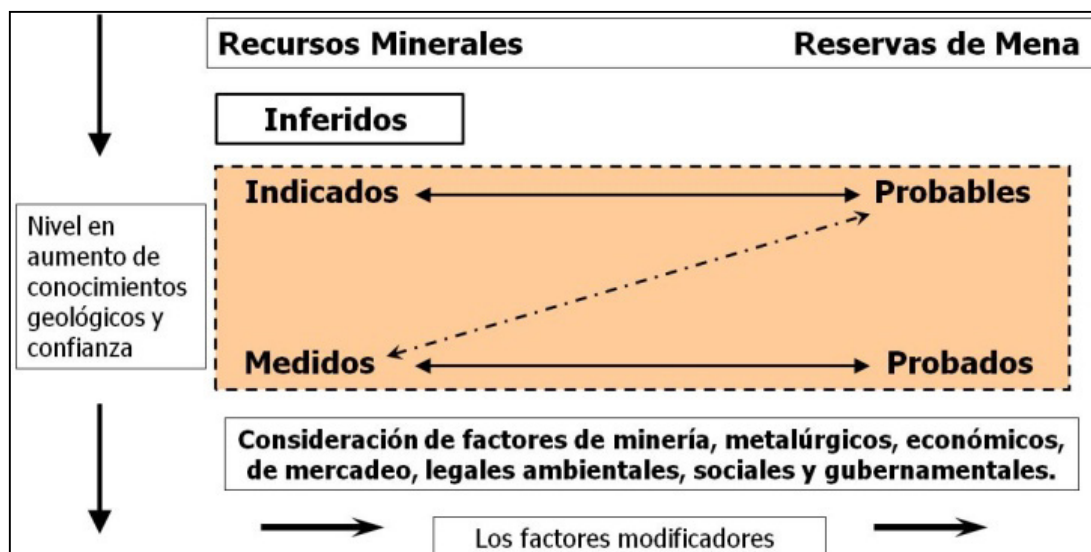


Fig. 21. Terminología y relación entre información de exploración, Recursos Minerales y Reservas de Mena. (Fuente: Australasian code for reporting of identified mineral resources and ore reserves, "Código Jorc (2004)").



### **4.3. CRITERIOS Y NORMAS DE CUBICACIÓN**

Para el desarrollo de esta tesis se emplearon las siguientes normas y criterios para el cálculo de reservas (cubicación):

#### **4.3.1. MUESTREOS**

El muestreo en la veta ha sido hecho en forma sistemática realizando canales (channel) a intervalos de 2 metros. Las muestras fueron tomadas selectivamente cubriendo la parte mineralizada de la veta, pero en algunos casos también se ha incluido brechas y zonas de alteración.

En ciertas zonas por razones de seguridad no se pudo muestrear a intervalos seguidos. Por lo cual, los valores de esos intervalos se calcularon como la media del valor anterior y posterior.

#### **4.3.2. PESO ESPECÍFICO**

Al no ser la veta “Paraíso” homogénea en su contenido mineral se tomaron muestras de mineral en los diferentes niveles para realizar ensayos de peso específico. Los resultados dieron un peso específico promedio de 2.8.

### **4.3.3. BLOQUES DE CUBICACIÓN**

Al no contar la mina con un criterio técnico desde sus inicios, existe un desorden en la explotación de la veta "Paraíso". Prueba de ello es que las chimeneas no comunican entre galerías, hay labores abandonadas en todos los niveles y no se cuenta con estándares de preparación como chimeneas principales cada 50 m. Todos estos inconvenientes hacen que el cálculo de reservas no se pueda realizar de manera convencional y se deban ajustar los criterios de cálculo a este caso en particular.

Los bloques de cubicación se han definido considerando el área encerrada entre galerías, piques o chimeneas. El perfil de la veta se ha idealizado, y se han formado figuras geométricas sin las irregularidades de piso- techo y los desniveles que existen en las galerías, para ello se ha trazado un promedio entre el punto más alto y bajo.

### **4.3.4. CÁLCULO DE LEYES**

Las leyes altas de ensayo se corrigen por erraticidad, de tal manera que los valores que excedan los 50 gr/Ton, tomarán el valor de 50 gr/Ton. Después se castigó a todas las leyes con el 10% por los

errores que se pudieron cometer desde el muestreo “in situ” hasta el análisis.

Las leyes de los bloques se estimaron generando un modelo geoestadístico (raster) con todas las leyes de muestreo de la veta. Luego de definidos los bloques se determinó su ley, para ello se dividió en modelo geoestadístico de acuerdo a los bloques trazados en la sección transversal de la veta ([Fig. 25](#)).

#### **4.3.5. POTENCIA DE LA VETA**

La potencia media de la veta se calcula como la media de las potencias en los tramos de los bloques.

#### **4.3.6. TONELAJE**

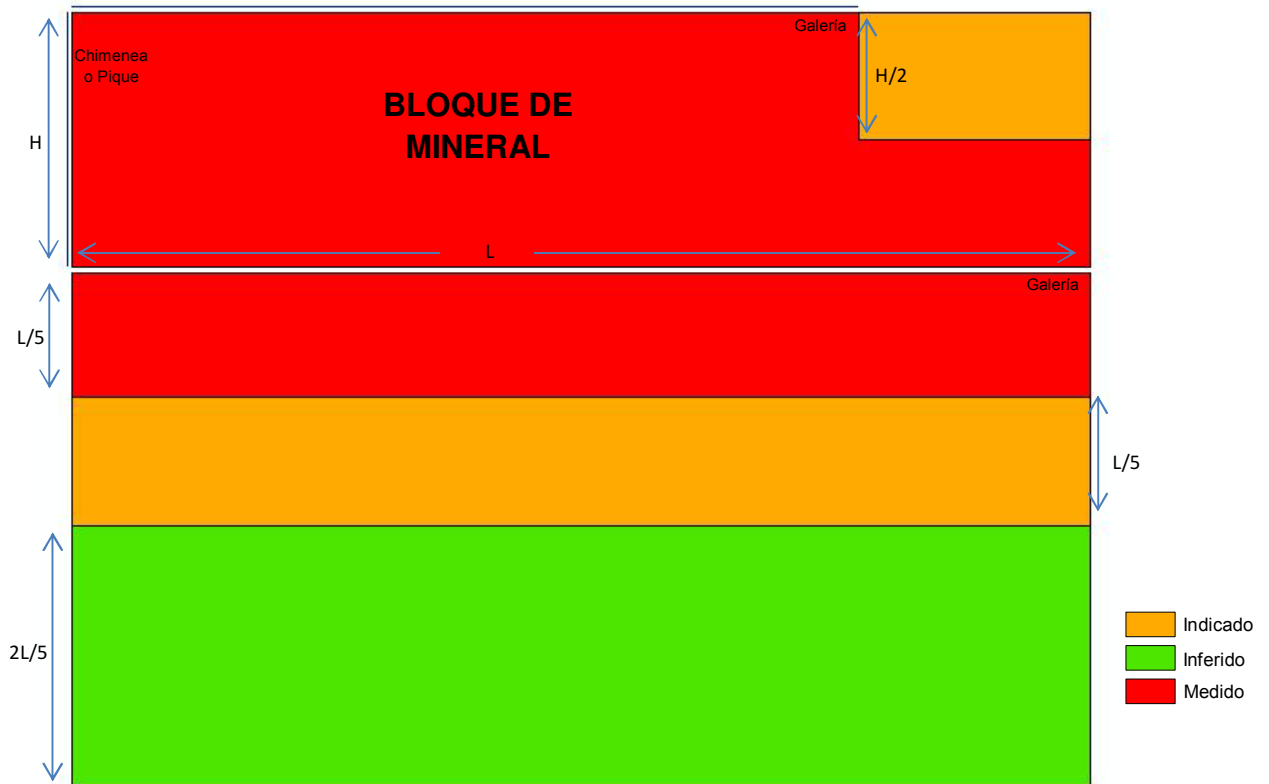
El tonelaje resulta de multiplicar el área del bloque por la potencia de la veta y el peso específico. A este resultado se le castiga con un 10% por los puentes que se dejan y los pequeños tramos empobrecidos.

#### 4.3.7. RESERVAS Y RECURSOS

Para la estimación de reservas de mena y recursos naturales, primero se revisó la información existente en antiguos informes, planos geológicos y muestreo de los diferentes niveles de la veta, luego se muestreó las zonas accesibles que faltaban en los bloques.

En la cubicación se ha tenido en cuenta la guía estándar del Código JORC Australiano (Fig. 21). Para el cálculo de reservas en esta tesis se considerará un nivel de reservas y recursos a potencia veta neta (sin dilución).

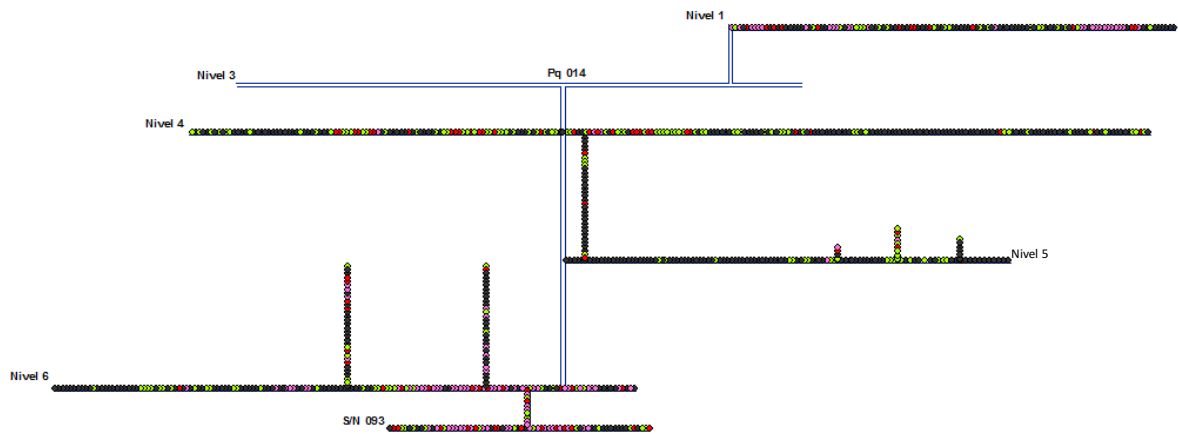
Las consideraciones en los bloques para la clasificación de reservas de mena o recursos minerales se muestran en la Fig. 22. Sin embargo, se adicionó un bloque de mineral Potencial proyectado bajo los bloques de mineral Inferido como dato de futuro interés.



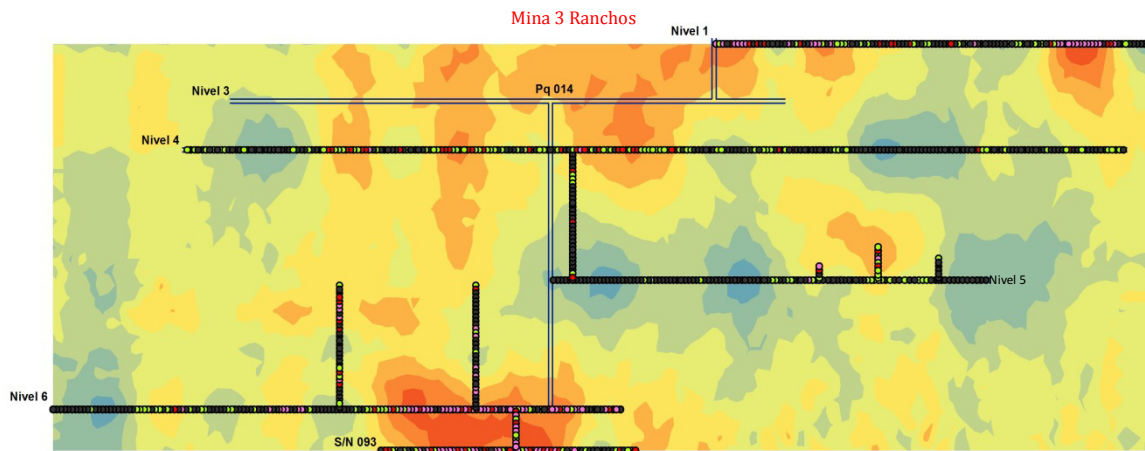
**Fig. 22.** Consideraciones geométricas para clasificar los Bloques como Reserva de Mena o Recurso Mineral.  
(Fuente: Autor).

#### 4.4. RESERVAS DE LA VETA “PARAÍSO”

En base a las intersecciones de la veta mineralizada en cinco diferentes niveles y un subnivel, así como del modelamiento espacial (sección transversal), se procedió a la estimación de los Reservas de la veta “Paraíso”, usando para ello una combinación de métodos geoestadísticos y geométricos (Fig. 22, Fig. 23 y Fig. 24).



**Fig. 23.** Ubicación espacial de los muestreos en la sección transversal de la veta "Paraíso".  
(Fuente: Autor)



**Fig. 24.** Modelamiento geoestadístico de la veta "Paraíso" utilizando los datos de muestreo.  
(Fuente: Autor)

Se trazaron 18 bloques (Fig. 25), incluido el bloque de mineral Potencial.

Los resultados de la cubicación se muestran a continuación:

Mina 3 Ranchos

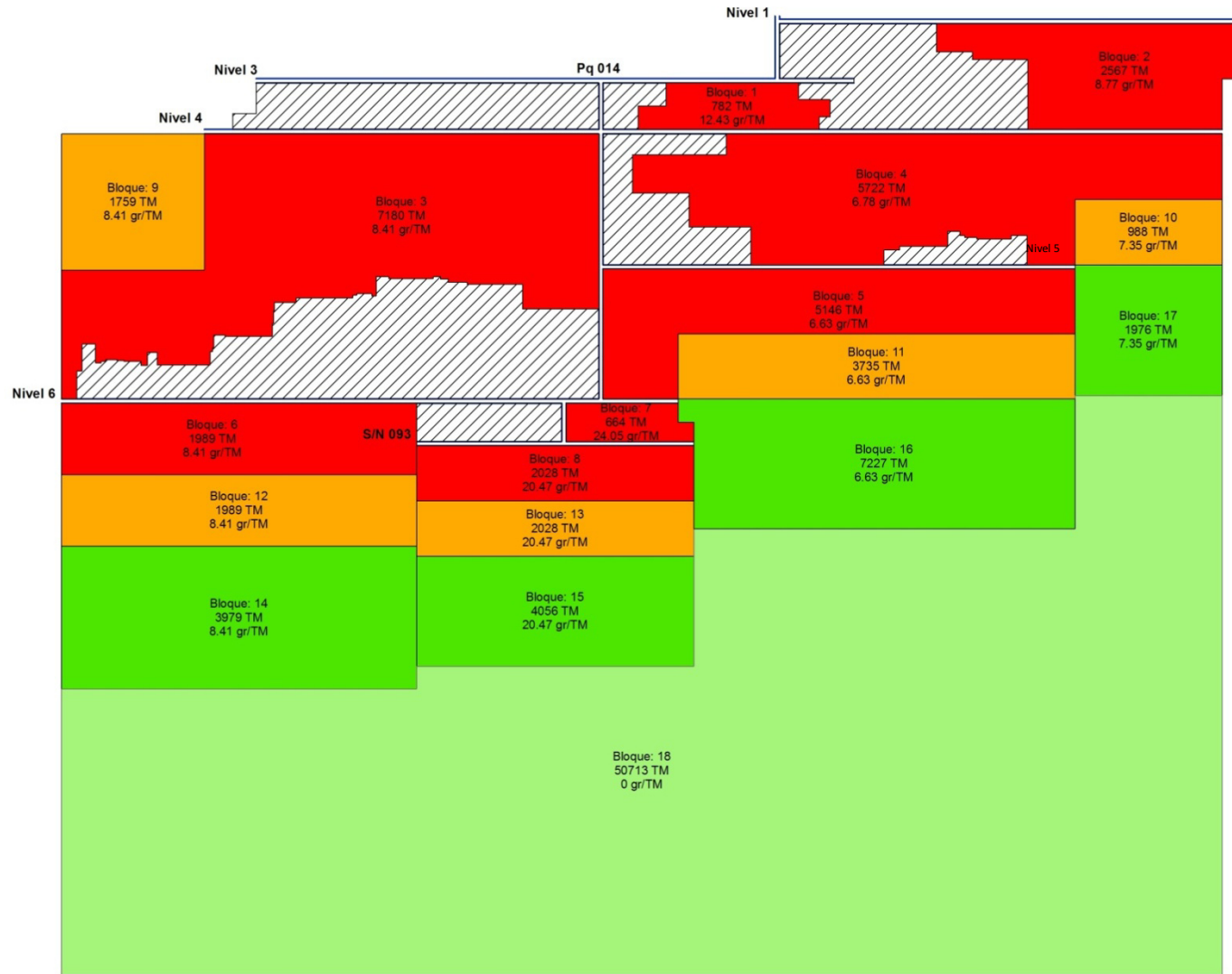


Fig. 25. Cubicación de la veta "Paraíso".

(Fuente: Autor)

<b>ESTIMACIÓN DE RESERVAS DE MENA</b>				
<b>Clasificación</b>	Toneladas (TM)	Au (gr/TM)	Potencia (m)	Fino (Kg)
Medido – Probadas	26078.99	11.09	0.19	239.75
Indicado – Probables	10500.06	10.25	0.18	105.07
<b>Total de Reservas</b>	<b>36579.05</b>	<b>10.67</b>	<b>0.19</b>	<b>344.82</b>
*Recursos de mineral es la suma de Medido, Indicado e Inferido.				
Inferido	17238.10	10.72	0.19	178.93

**Tabla 3.** Estimación de Recursos y Reservas de la veta Paraíso.  
(Fuente: Autor)

La veta “Paraíso” tiene a la fecha de finalizada esta tesis de grado una Reserva de mena por **36579.05 TM** de mineral a una potencia media de veta de 0.19 m con una ley de **10.67 gr/TM**, que equivalen a **344.82 kg de Au**.

El Recurso Inferido es de **17238.10 TM** de mineral a una potencia media de veta de 0.19 m con una ley de **10.72 gr/TM**, equivalentes a **178.93 Kg de Au**.

El bloque de Mineral Potencia tiene **50713 TM** a una potencia de veta de **0.19 m**. Este bloque no se suma a las reservas ni a recursos ya que sólo es informativo.



# CAPÍTULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizada la tesis se puede concluir:

- Con toda la información existente de muestreo en el departamento geológico y el tratamiento geométrico y geoestadístico en el transcurso de la elaboración de esta tesis de grado la veta “Paraíso” tiene 53817.15 TM de Recurso Mineral de con una ley media de 10.70 gr/TM, de las cuales **36579.05 TM** corresponde a Reservas de Mena con una ley media de **10.67 gr/TM** y una potencia media de **0.19 m**.
- La veta “Paraíso” se interpreta como una estructura epi-mesothermal de baja sulfuración, parte de un rosario o flor positiva cuya estructura principal es la veta “3 Ranchos”.

- El modelo geoestadístico planteado no muestra una tendencia de mineralización en la veta "Paraíso". Existen zonas de alta ley, pero están distribuidas en varias zonas de la veta.

Con lo antes mencionado se recomienda:

- Dar prioridad a las labores de exploración y desarrollos para aumentar las reservas de mena de la veta "Paraíso" porque dentro de la mina ya se tienen chimeneas y piques hasta el nivel 12 en otras vetas.
- Aplicar geoestadística en las estimaciones de reservas en las diferentes vetas de la mina que aún no cuentan con una cubicación.
- Determinar la dilución de diseño según O'Hara para optar el diseño más apropiado en explotación de la veta para optimizar la cantidad de mineral extraído.

## BIBLIOGRAFÍA

**Dr. Martin Williams.** GEOQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE. ALGUNAS APLICACIONES DE LA INFORMACIÓN GEOQUÍMICA DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL.

**Martínez Briones Carlos.** ANTEPROYECTO DE ESTUDIO DE MUESTRAS MINERALES DE LA ZONA DE PONCE ENRIQUE PARA MEJORAR SU BENEFICIO.

**Raymond Jannas R, Ramón Araneda G.** GEOLOGIA DE LA VETA INDIO SUR 3.500, UNA ESTRUCTURA TIPO BONANZA DEL YACIMIENTO EL INDIO.

**René Quelali Sulca.** EVALUACIÓN GEOESTADÍSTICA DE LA VETA NOTHAFT, YACIMIENTO ESTANNIFERO DE HUANUNI.

**Marco Antonio Alfaro Sironvalle.** ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINEROS.

**Ministerio de Geología y Minas (2000).** EVALUACIÓN DEL DISTRITOS MINEROS DEL ECUADOR, 1ERA EDICIÓN, VOLUMEN I-V.

**Ministerio de Energía y Minas (1998).** PROYECTO DE DESARROLLO MINERO Y CONTROL AMBIENTAL. MONITOREO DE LAS ÁREAS MINERAS EN EL SUR DEL ECUADOR (1ER. ED.). PRODEMINCA.

**Ministerio de Energía y Minas (2007).** EL ABC DE LA MINERÍA EN EL ECUADOR.

**Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental (CEDA).** SISTEMATIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA DE EXPLOTACIÓN MINERA DE BELLA RICA Y GUANACHE-TRES RANCHOS.

**Municipio de Ponce Enríquez – FUNGEOMINE y CAPEMINE.** PROYECTO DE DESCONTAMINACION, MICROCUENCA DEL RIO CHICO, DISTRITO AURÍFERO SAN GERARDO.

**Gobierno Municipal Autónomo del Cantón La Troncal.** ATRACTIVO 6. BOSQUE PROTECTOR MOLLETURO-MULLOPUNGO-MANTA REAL.

**ORSTOM y PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería (1983).** LOS CLIMAS DEL ECUADOR - FUNDAMENTOS EXPLICATIVOS.

**Fabián Sandoval (2001).** LA PEQUEÑA MINERÍA EN EL ECUADOR.

**Pablo Duque.** BREVE LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DEL ECUADOR. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y MINERA.

**Pablo Gonzalo Chérrez Ramírez.** TESIS: GEOLOGÍA ECONÓMICA DE LAS VETAS AURÍFERAS DE YASHIPA, PROSPECTO SHAGLLI, PROVINCIA DEL AZUAY.

**Jorge Rolando Alulima Morocho (2009).** TESIS: RENDIMIENTO DE LA FLOTACIÓN PARA CONCENTRAR SULFUROS MINERALES DE LOS RELAVES EN LOS DISTRITOS MINEROS DE PORTOVELO – ZARUMA, BELLA RICA Y SAN GERARDO.

**Artemio Maque Vilca (2007).** TESIS: EVALUACION Y CLASIFICACION DE RECURSOS MINERALES EN LA VETA MILAGROS DE LA MINA PARCOY, PROVINCIA DE PATAZ DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD.

**Marisol del Cisne Jiménez, Janina Ivanova Prieto (2011).** TESIS: DETERMINAR EL RENDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA, APLICANDO UN PROCESO COMBINADO DE FLOTACIÓN Y CIANURACIÓN A LOS RELAVES PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO GRAVIMÉTRICO DEL CONDOMINIO SUR NAMBIJA.

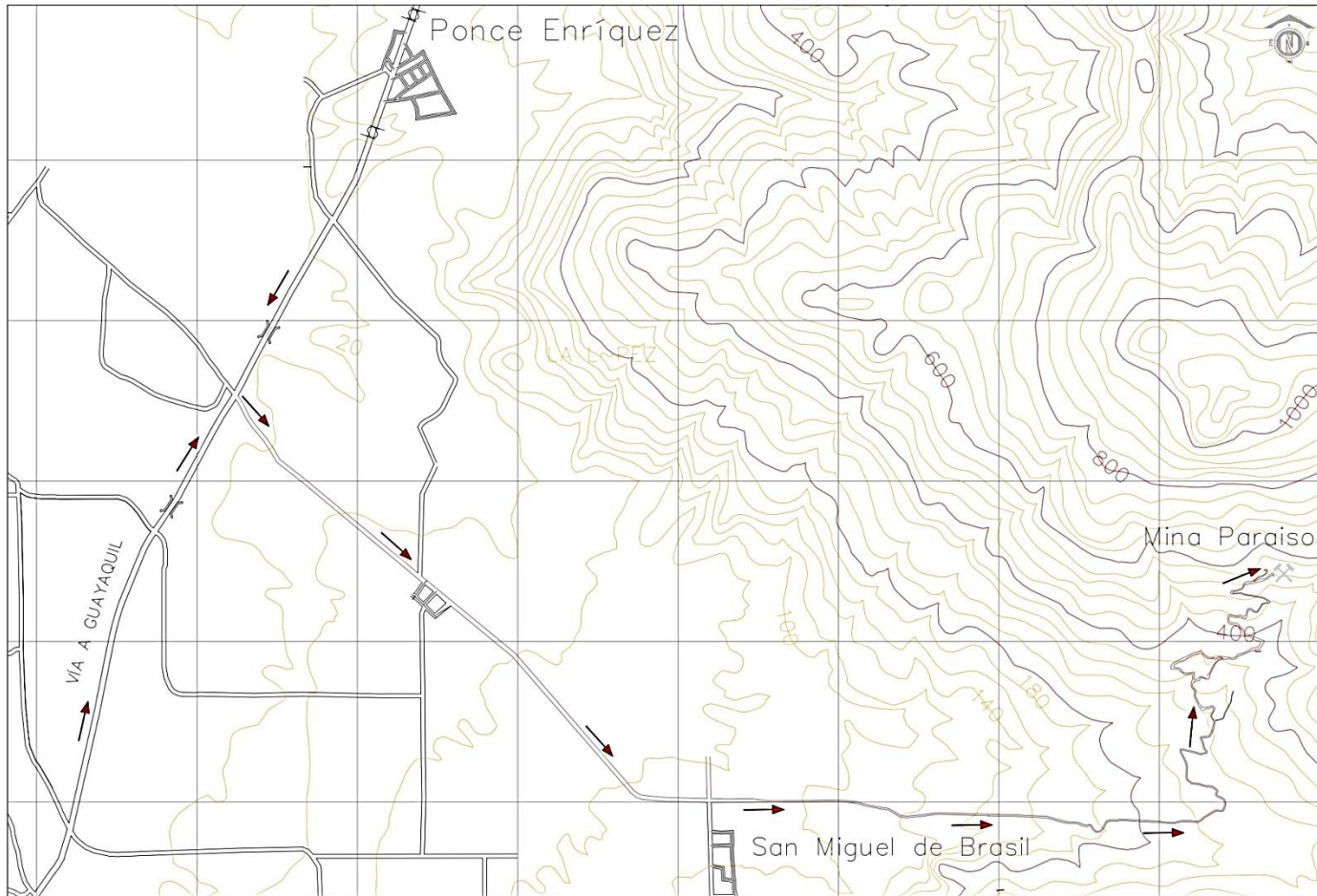
**Dr. Marcelo Godoy.** SEMINARIO “COMPETENCIAS EN RECURSOS Y RESERVAS MINERAS”.

**Bolsa de Valores de Lima (BVL).** CODIGO DE ESTANDARES DE REPORTE PARA INFORMAR SOBRE RECURSOS MINERALES Y RESERVAS DE MENA.

**César Castañón Fernández (2009).** PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: CONTROL DE LEYES EN LAS EXPLOTACIONES DE ORO A CIELO ABIERTO DE “EL VALLE-BOINAS”.

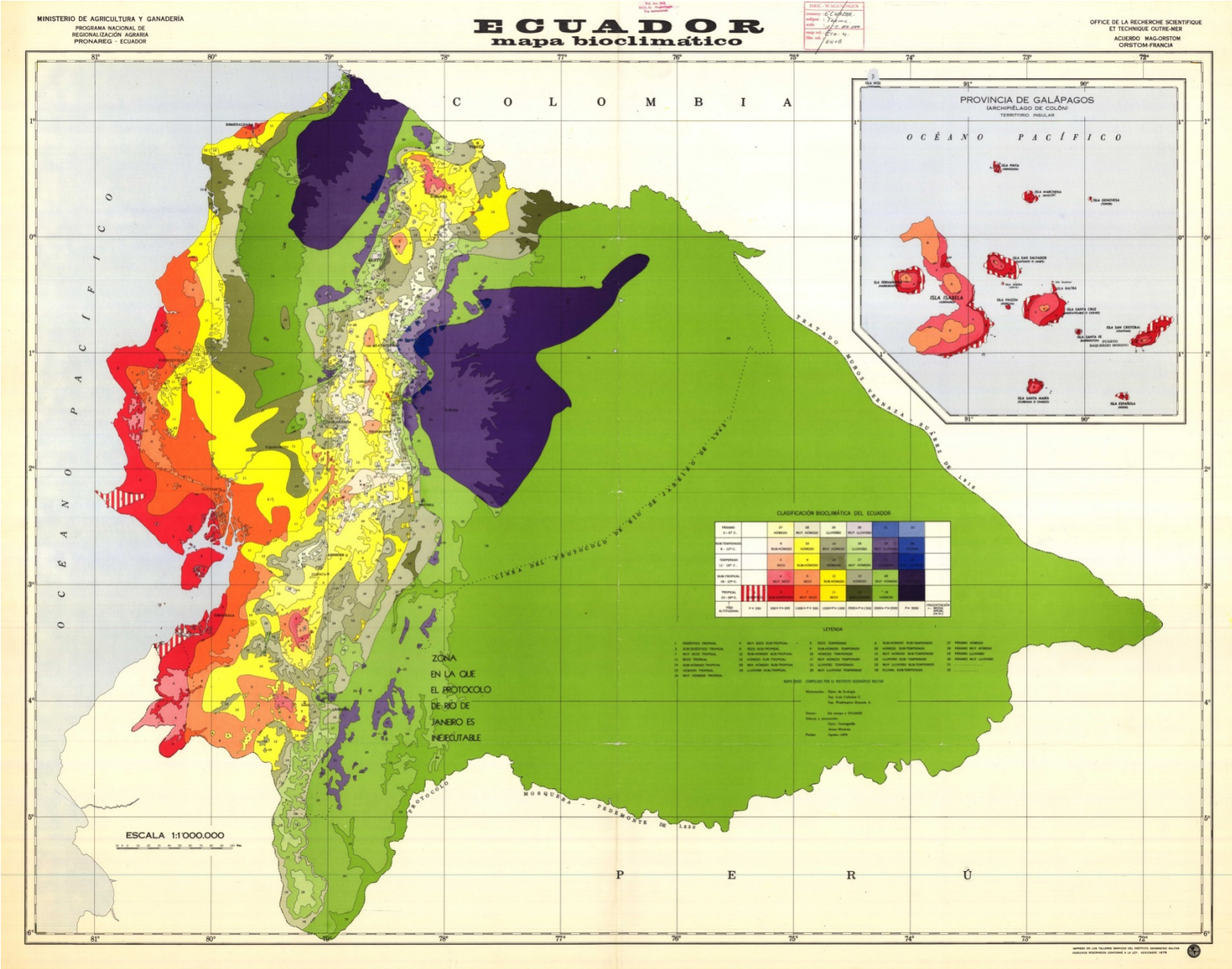
# **ANEXOS**

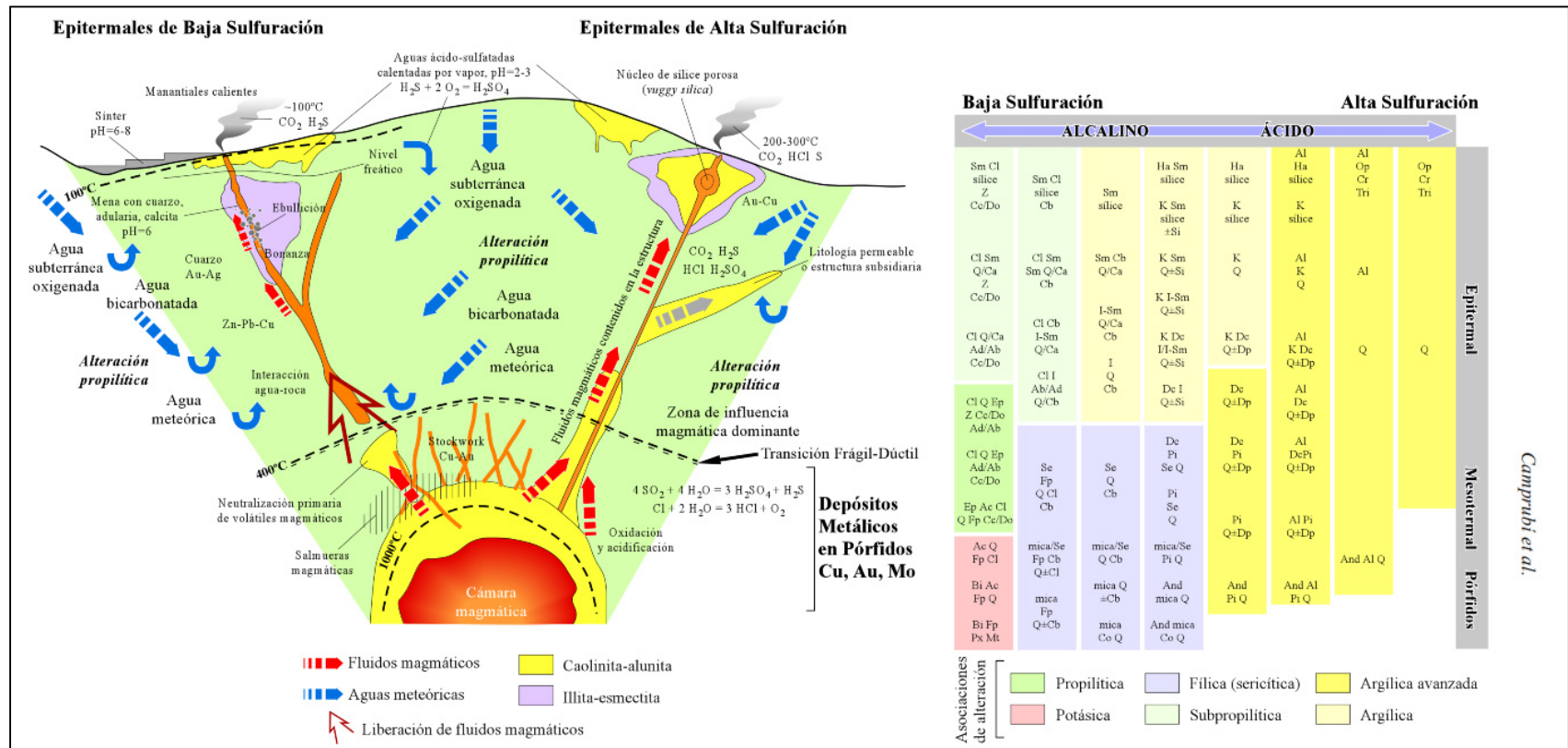
Anexo 1



**Mapa de Acceso a la Mina Paraíso**







**Izquierda:** Esquema comparativo (no a escala) de la estructura, procesos, tipos de alteración, volátiles liberados, temperaturas, pH, tipos de fluidos y reacciones involucradas en la formación de los depósitos epitermales de baja y alta sulfuración. Igualmente se muestra su relación con las rocas magmáticas como fuente de calor, fluidos y componentes químicos para estos depósitos, comprendiendo desde una cámara magmática en proceso de enfriamiento, la formación de depósitos metálicos relacionados a pórfidos (cupríferos, auríferos, o molibdeníferos), hasta el ambiente epitermal (modificado de Sillitoe, 1995; con base en los datos de Hedequist y Lowenstern, 1994; Gammons y Williams-Jones, 1997; Corbett y Leach, 1998). La posición de la transición frágil-dúctil se ha ubicado en temperaturas de ~ 400°C, y a 5–7 km de profundidad (p.e. Fourmier, 1991; Nielson et al., 1999).

**Derecha:** Esquema de la composición mineralógica de las alteraciones hidrotermales asociadas a la formación de depósitos minerales epitermales, mesotermales y porfídicos, según el pH de las soluciones mineralizantes (modificado y simplificado de Corbett y Leach, 1998). Abreviaciones: Ab = albita, Ac = actinolita, Ad = adularia, Al = alunita, And = andalucita, Bi = biotita, Ca = calcedonia, Cb = carbonatos (de Ca, Mg, Mn y/o Fe), Cc = calcita, Cl = clorita, Co = corindón, Cr = cristobalita, Dc = dickita, Di = diápora, Do = dolomita, Ep = epidota, Fp = feldespatos potásicos, Ha = halloysita, I = illita o illita esmectita, K = caolinita, Mt = magnetita, Op = ópalo o silice opalina, Pi = pirofilita, Px = clinopiroxenos, Q = cuarzo, Se = sericita, Si = siderita, Sm = esmectita o esmectita-illita, Tri = tridimita, Z = zeolitas (de menor a mayor temperatura: natrolita, chabazita, mordenita, heulandita; laumontita; wairakita).



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.