



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Veintimilla Granda, Jorge Enrique

DIRECTOR: Guartán Medina, José Arturo, Mg.

LOJA - ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Magister

José Arturo Guartán Medina

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: “Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador”, realizado por Jorge Enrique Veintimilla Granda, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo

Loja, Noviembre de 2014

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Jorge Enrique Veintimilla Granda declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: “Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe - Ecuador”, de la Titulación de Ingeniero en Geología y Minas, siendo el Magister José Arturo Guartán Medina director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales”. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional de la Universidad”

f.....

Autor: Jorge Enrique Veintimilla Granda

Cédula: 1102659776

DEDICATORIA

A Dios, Padre Todopoderoso, por su infinita bondad y amor que me brinda, por la sabiduría de poder alcanzar mis anhelos.

Todo el esfuerzo invertido en esta investigación se la dedico a mi familia, en especial a mi madre Inés, a mis hermanos, esposa e hija, que han sido mi inspiración y la razón para seguir adelante; a mis amigos y compañeros que con su apoyo moral, consejos y oraciones, han sido luz para alcanzar la meta propuesta.

Jorge

AGRADECIMIENTO

Expreso mi reconocimiento y gratitud a los Directivos y Tutores de la “Universidad Técnica Particular de Loja”, al Director de la Escuela de Ingeniería en Geología y Minas, en especial al Magister José Arturo Guartán Medina, quien con su orientación y confianza ha permitido la realización de este gran trabajo. A mis familiares, quienes me acompañaron más de cerca para realizar este proyecto, el cual me permitirá lograr un crecimiento personal y por ende profesional.

Jorge

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DE FIN DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCION.....	3
ANTECEDENTES.....	4
OBJETIVOS.....	5
CAPÍTULO I.....	6
1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
1.1. Geografía Física	7
1.1.1. Ubicación Geográfica	7
1.1.2. Acceso.....	8
1.1.3. Clima y Vegetación.....	8
1.1.4. Geomorfología e Hidrografía	9
1.2. Geografía Humana	11
1.2.1. Población, aspectos económicos y sociales.....	11
CAPÍTULO II.....	13
2. GEOLOGIA REGIONAL.....	13
2.1. Marco Geológico.....	14
2.2. Evolución Geológica de la Cordillera del Cóndor... ..	15
2.3. Estratigrafía del distrito minero Nambija.....	16
2.5. Estructura	17
2.6. Mineralización.....	18
2.7. Alteración.....	19
CAPITULO III.....	21
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	21
3.1. Recopilación y validación de información	22
3.2. Trabajo de campo	22
3.3. Trabajo de laboratorio.....	25
3.3.1. Preparación de muestras para el análisis microscópico.....	25
3.3.2. Elaboración de secciones pulidas	27
3.4. Trabajo final	32
CAPÍTULO IV	33
4. RESULTADOS	33
4.1. Geología de la zona estudiada	34
4.1.1. Litología	34
4.1.2. Estructura	39
4.1.3. Mineralización.....	40
4.2. Análisis petrográfico y mineralógico de secciones pulidas.....	41

CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXO 1. MAPAS DEL SECTOR EL TIERRERO – NAMBIJA.....	53
a) Mapa hidrográfico El Tierrero – Nambija.....	54
b) Mapa de pendientes polígono en El Tierrero – Nambija.....	55
c) Mapa geológico del Cinturón de Nambija.....	56
d) Mapa geológico de El Tierrero – Nambija.....	57
e) Mapa geológico estructural El Tierrero – Nambija.....	58
ANEXO 2. FICHAS PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS.....	59
- Afloramiento N° 1.....	60
- Afloramiento N° 2.....	61
- Afloramiento N° 3.....	62
- Afloramiento N° 4.....	63
- Afloramiento N° 5.....	64
- Afloramiento N° 6.....	65
- Afloramiento N° 7.....	66
- Afloramiento N° 8.....	67
- Afloramiento N° 9.....	68
- Afloramiento N° 10.....	69
- Afloramiento N° 11.....	70
- Afloramiento N° 12.....	71
- Afloramiento N° 13.....	72
- Afloramiento N° 14.....	73
- Afloramiento N° 15.....	74
- Afloramiento N° 16.....	75
- Afloramiento N° 17.....	76
- Afloramiento N° 18.....	77
- Afloramiento N° 19.....	78
- Afloramiento N° 20.....	79
- Afloramiento N° 21.....	80
- Afloramiento N° 22.....	81
- Afloramiento N° 23.....	82
ANEXO 3. RESULTADOS DE MUESTRAS ANALIZADAS EN EL LABORATORIO DE GEOLOGIA Y MINAS DE LA UTPL.....	83
a) Resultado de análisis en el microscopio.....	84
b) Interpretación de secciones pulidas – luz reflejada.....	86
c) Imágenes de las muestras analizadas en el Laboratorio de Geología y Minas de la UTPL.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	7
Figura 2. Mapa de pendientes del área de estudio.....	10
Figura 3. Mapa hidrológico de la zona.....	11
Figura 4. Mapa geológico del distrito de Zamora.....	15
Figura 5. Mapa geológico del cinturón de Nambija.....	17
Figura 6. Concentración de sales de cobre en El Tierrero – Nambija.....	20
Figura 7. Toma de datos estructurales en campo El Tierrero – Nambija.....	22
Figura 8. Análisis de afloramientos en cortes vías y galerías El Tierrero – Nambija.....	23

Figura 9. Selección de muestras en campo El Tierrero – Nambija.....	24
Figura 10. Escombreras en El Tierrero – Nambija.....	24
Figura 11. Trituradora de mandíbulas	25
Figura 12. Proceso de deslamado con batea concentradora	26
Figura 13. Horno de secado de muestras.....	26
Figura 14. Prototipo de muestra para secciones pulidas	27
Figura 15. Máquina de corte de rocas ISOMET LAPRO 18	28
Figura 16. Máquina de lijado METASERV	29
Figura 17. Máquina de pulido	29
Figura 18. Equipo de impregnación, bomba de vacío	31
Figura 19. Briquetas obtenidas del proceso.....	31
Figura 20. Afloramiento de skarn (El Tierrero).....	35
Figura 21. Roca andesita	36
Figura 22. Afloramiento de toba andesítica mineralizada	37
Figura 23. Toba afloramiento N° 15.....	38
Figura 24. Mapa geológico del sector El Tierrero Nambija	39
Figura 25. Plano de falla (estrías y milonita).....	40
Figura 26. a) Presencia de hematita, óxidos por procesos de meteorización bajo. b) Colores típicos de lixiviación de minerales ferromagnesianos según el grado de interperismo, se presentan en combinación de colores. c) Mineral de malaquita sobre una andesita.....	41
Figura 27. a) Presencia de (CPy) calcopirita, (Py) pirita, (Ca) calcita. b) (CPy) Calcopirita predomina en la sección, c) Los principales minerales son (CPy) calcopirita y (Py) pirita.....	43
Figura 28. a) Sección pulida donde se observa (Py) Pirita, (Sf) esfalerita. b) (Py) pirita, (Gn) Galena, (CPy) calcopirita y (Sf) esfalerita. c) Presencia de (Py) pirita, (Gn) galena, se puede evidenciar claramente la zonación de minerales.....	45
Figura 29. a) Sección con contenido de (Py) pirita, (CPy) calcopirita, (Sf) esfalerita. b) (CPy) Calcopirita, (Gn) galena, (Py) pirita, (Sf) esfalerita. c) (Gn) Galena, (Py) pirita.....	46
Figura 30. Interpretación de las secciones pulidas.....	86
Figura 31. Muestras analizadas en el microscopio del Laboratorio de Geología y Minas de la UTPL.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM (WG S-84) de la zona de estudio.....	8
Tabla 2. Rangos de Pendientes.....	9
Tabla 3. Composición mineralógica de las muestras de roca. El Tierrero-Nambija.....	42
Tabla 4. Porcentaje de minerales en secciones pulidas (TIER-001) en función del cuadro de observación.....	43
Tabla 5. Porcentaje de minerales en secciones pulidas (TIER-002) en función de cuadro de observación.....	45
Tabla 6. Porcentaje de minerales en secciones pulidas (TIER-003) en función de cuadro de observación.....	47

RESUMEN

El distrito minero de Nambija se ubica al Sur del país, en la Cordillera del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe; geológicamente se encuentra conformada por unidades de edad mesozoica, donde procesos de metamorfismo de contacto asociados a procesos hidrotermales, han generado en las rocas encajantes una recristalización, lo que ha provocado la formación de corneanas, skarn, rocas silicificadas y enriquecimiento de Au en zonas denominadas bolsonadas, que han llegado a valores de 300 gr/ton según narraciones de los mineros artesanales de la zona.

La investigación realizada en el sector El Tierrero se determina que está conformado por litologías de skarn, tobas, andesitas y tobas andesíticas mineralizadas; los contactos entre estas litologías están delimitados por fallas con dirección principal de NE-SW, otras *de tipo* secundarias E-W; y, NW-SE; en los afloramientos estas rocas se encuentran muy fracturadas formando familias de diaclasas que tienen como datos estructurales: 257/60, 113/89, 297/60, 330/62.

La mineralización de interés económico está relacionada a pequeñas vetillas tipo stockwork o pequeñas concentraciones diseminadas en el skarn; los cuales presentan una asociación mineralógica *de* epidota-adularia-cuarzo-granates

PALABRAS CLAVES: Geología, Mineralogía, Minas y Nambija.

ABSTRACT

The mining District Nambija it is located south of the country, in the mountains of Condor province of Zamora Chinchipe; geologically is composed by units Mesozoic age , where procesess of contact metamorphism associated with hydrothermal procesess they have generated in the host rocks a recrystallization , wich has led to the formation of corneal ,skarn, silicified rock and enrichment in gold of areas called bolsonadas, have reached values of 300 gr/ton according to narrations of artisanal miners in the area.

The investigation relized in the sector Tierrero it is determined that it is composed of litologies of skarn ,tuffs, andesites , and mineralized tuffs ; contacts between these litologies are determined by failures with a primary adress of NE - SW ,other secondary type EW; y , NW - SE ; in outerops these rocks are highly fractured forming family of joints that take as structural information : 257/60 , 113/89 , 297/60 , 330/62 .

Interest economic mineralization is related to vetillas stockwork type as small concentrations scattered in the skarn ; wich have an association of epidote , quartz , and garnets.

Keywords: Geology , Mineralogy , Mine , and Nambija

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de fin de titulación denominado “Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, Provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador”, se efectuó considerando el objetivo de la Universidad Técnica Particular de Loja que tiene como objetivo planificar estudios de investigación relacionados como “Recursos Naturales, Biodiversidad y Geo-diversidad”, con la finalidad de organizar prácticas de Minería Responsable, dentro del proyecto interdepartamental: “Determinación de metales pesados en plantas y suelos de 3 áreas explotadas por la minería aurífera en la provincia de Zamora Chinchipe”.

La investigación tiene como objetivo principal realizar un estudio geológico y mineralógico del sector “El Tierrero”; que nos permita diferenciar los tipos de litología presentes en la zona, así como la descripción petrográfica y mineralógica visual, con estudios de laboratorio (secciones pulidas). A fin de elaborar un mapa geológico a detalle de la zona de investigación, área que desde finales de los años 70 se encuentra siendo explotada por mineros artesanales y pequeñas empresas mineras.

Con los trabajos de campo y laboratorio se obtienen los datos necesarios para determinar las características geológicas, mineralógicas y estructurales de la zona, que permiten elaborar mapas temáticos, en los cuales se ha plasmado la información geológica y de composición mineralógica, sector “El Tierrero”.

Se analiza las condiciones actuales en las que se encuentra la zona de estudio, con la finalidad de plantear propuestas técnicas orientadas a la explotación de recursos minerales apegado a la normativa y técnicas de conservación ambientales que minimicen los impactos en las cuencas y zonas de influencia del sector, igualmente podrá servir como base para futuros estudios relacionados a la minería, estudios civiles, agrícolas, agronómicos y otros proyectos.

El mayor inconveniente presentado fue al realizar el mapeo Geológico debido a la presencia de escombreras, viviendas, deslizamientos muy abruptos, asociados a la presencia de vegetación exuberante en la zona de trabajo, por lo que se utilizó como recurso el mapeo geológico subterráneo en algún caso.

Durante el desarrollo inicial de la presente investigación se utilizó la base topográfica a escala 1:1000 del sector “El Tierrero”, Distrito Norte, Área de Nambija, proporcionado por Canuc-Andos, sobre el cual se plasmó los estudios consecutivos de geología, muestreo entre otros necesarios para cumplir con los objetivos propuestos.

ANTECEDENTES

Los recursos minerales de nuestro país han sido explotados de una manera irracional a lo largo de la historia, por tanto se ha desarrollado de una manera descontrolada, anti-técnica y contaminante, explotando solamente las zonas de mayor contenido y sin valor agregado.

Existen algunos estudios de la zona realizados por particulares o por las compañías que han operado en el sector y sectores aledaños que han contribuido al conocimiento del área minera, por ello la Universidad Técnica Particular de Loja a través de la titulación de Geología y Minas, emprende en algunos proyectos de investigación en estos distritos mineros

Con el mapeo geológico se llega a la representación gráfica de las características geológicas del sector, su estructura y relaciones de contacto. El mapeo es fundamental para la solución de problemas estratigráficos y estructurales, así como la prospección de recursos minerales. Se deberá realizar la interpretación de secciones geológicas del área levantada describiendo la geología y la interpretación del sector estudiado, con la presentación e interpretación de los datos obtenidos en el terreno.

En este caso es muy importante la identificación de rocas aflorantes (litología), la estructura de las mismas o de la zona (medición de rumbos y manteos de fallas y/o estructuras), así como determinar su dimensión real, relaciones de contactos con otras rocas y representarlas cartográficamente en forma correcta (simbología y códigos de colores).

Sin embargo, existen otros estudios de terreno que no necesariamente son de características geológicas. Por ejemplo, también es posible representar cartográficamente características específicas de las rocas como la alteración hidrotermal, mineralización, medidas estructurales y composición química.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar las características geológicas y mineralógicas del sector El Tierrero-Nambija.

Objetivos específicos:

- Diferenciar los tipos de litologías presentes en la zona de estudio.
- Describir la petrografía y mineralogía asociadas a la mineralización.
- Elaborar un mapa geológico a escala 1:1.000 de la zona estudiada.

CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1 Geografía física

1.1.1 Ubicación geográfica

El área minera de Nambija se localiza en el cantón Zamora al Sur-Oriente del Ecuador, al NE de la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Zamora, parroquia San Carlos de las Minas. Forma parte de la región morfo-estructural en la cordillera de Nanguipa la misma que constituye un ramal formado entre la cordillera Real y El Cónдор.

El polígono El Tierrero motivo de la presente investigación, se ubica dentro del Distrito Minero de Nambija delimitado por las siguientes coordenadas UTM WGS-84 (Figura 1, Tabla 1).

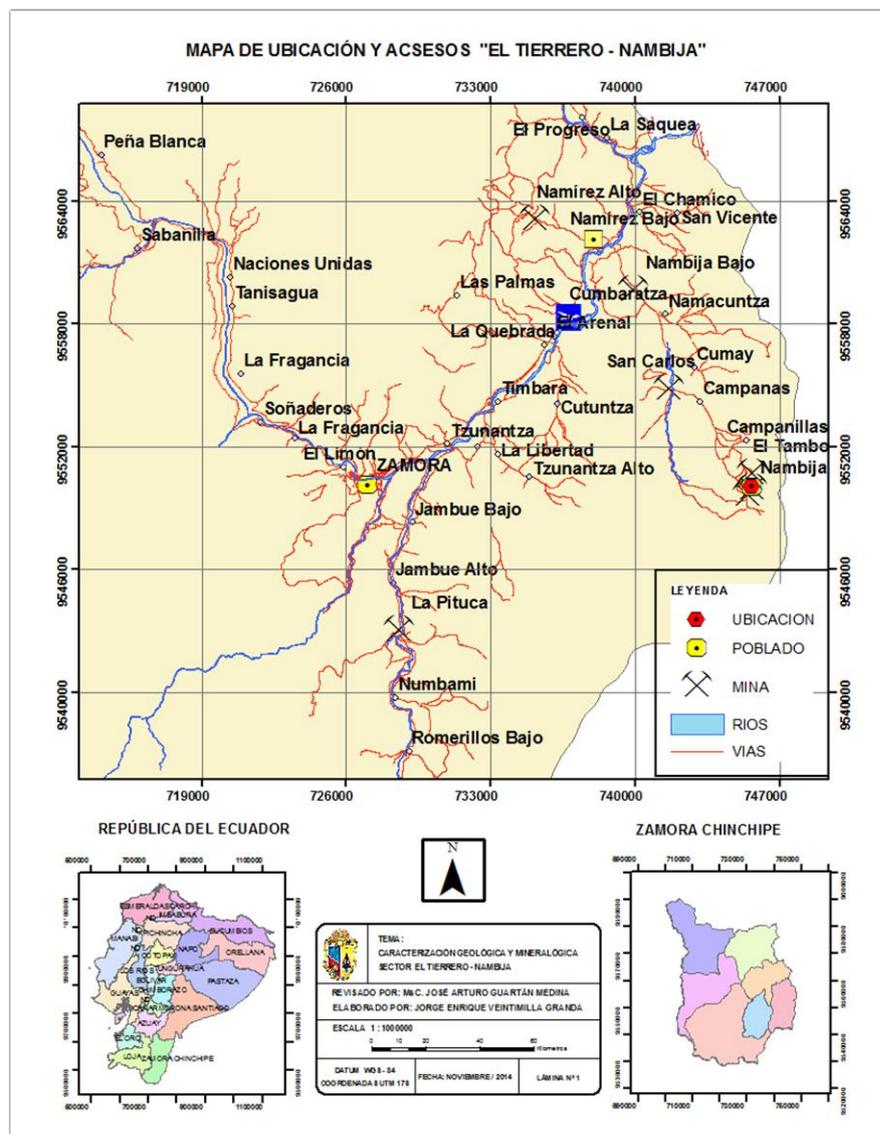


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.
Fuente: Publicación IGM, (2002).

Tabla 1. Coordenadas UTM (WG S-84) de la zona de estudio.

	X	Y
1	745600	9550400
2	746100	9550400
3	745600	9549800
4	746100	9549800

Fuente: El Autor

1.1.2. Acceso

Nambija es un barrio perteneciente a la parroquia San Carlos de las Minas, del cantón Zamora. Para llegar a Nambija desde la ciudad de Loja existe 140 km. de recorrido, que consiste en transitar de Loja a Namírez una distancia de 120 km. en vía de primer orden con un tiempo aproximado de viaje en vehículo de 01H45, y luego se transporta de Namírez a Nambija una distancia aproximadamente de 20 km. por vía de segundo orden, con un tiempo de 01H30 de recorrido en vehículo.

Cabe destacar que desde la capital de la provincia de Zamora al sitio Namírez, hay una distancia de 21 km, y un tiempo aproximado de recorrido de 30 minutos.

1.1.3 Clima y vegetación

De manera general, Nambija se encuentra ubicada en el flanco Oeste de la cordillera de Nanguipa, la misma que constituye un ramal formado entre las cordilleras Real y El Cóndor. De acuerdo a datos proporcionados por el Ministerio del Medio Ambiente (MAE) y los mapas de isotermas e isoyetas del INAMHI (2013), se establece un rango de temperatura entre 16 a 18 °C, que corresponden a un clima templado con variaciones menores a lo largo del año para el sector. La precipitación alcanza valores entre los 2500 mm a 3500 mm anuales, siendo los meses de febrero y julio los más lluviosos y el más seco noviembre.

Los altos valores de precipitación, favorecen el crecimiento de vegetación, en el informe base generada por la consultora Carlos Granja (Plan de Gestión Integral de Nambija, 2011) manifiesta que Nambija presenta dos bosques: Bosque de Neblina Montano y Matorral Húmedo Montano Bajo.

1.1.4 Geomorfología e hidrografía

Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra enclavada en una zona montañosa con relieve irregular y pendientes abruptas, formando cascadas y valles profundos en “V”. La altimetría regional varía entre los 1.600 y 2.300 msnm.; y, dentro del polígono de estudio está entre 1.842 hasta 2.029 msnm (Figura 2).

Tabla 2. Rangos de pendientes

Rango en % de pendiente	Descripción
0 – 2	Plano
2 – 5	Muy suave
5 -12	Suave
12 – 25	Media
25 – 40	Media Fuerte
40 – 70	Fuerte
70 – 100	Muy Fuerte
>100	Escarpada

Fuente: Clirssen, (2001).

Del mapa de pendientes podemos deducir que el área está representada por tres tipos principales de pendientes que son: De 0 a 2% corresponde a superficie plana en su mayoría se ha formado por trabajos antrópicos y por expansión de las escombreras. Del 5 al 12% se ajusta a un relieve suave y representa zonas alteradas durante el laboreo minero y algunas aún se encuentran en estado natural intacto, predominan al Oeste del área. Del 25 al 40%, prevalece un relieve media fuerte es la pendiente dominante del área del polígono, sólo al Noreste del polígono se observa un cambio de pendiente fuerte (40 al 70%) y se ubican principalmente en la parte más alta del polígono.

En ciertos lugares y en forma puntual aparecen otros valores de pendientes en el área debido a que la zona se encuentra muy alterada por los trabajos antiguos y recientes de los mineros que han cambiado la topografía de la zona. Para clasificar las pendientes se ha tomado como referencia la clasificación según el Clirssen (Ver Tabla 2).

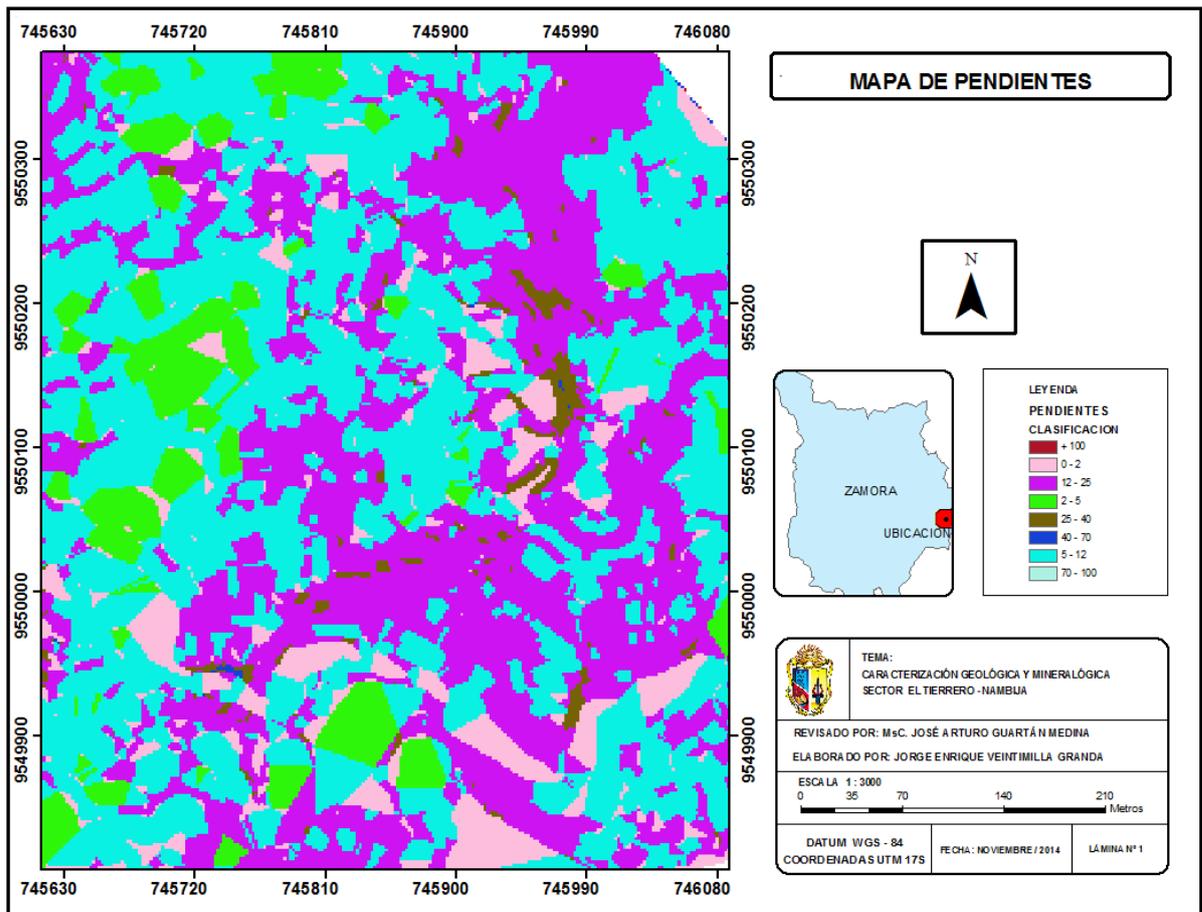


Figura 2. Mapa de pendientes del área de estudio
Fuente: El Autor

Desde el punto de vista hidrográfico, el sector forma la cuenca alta del río Nambija, los aportes más importantes corresponden a la quebrada de la Iglesia, quebrada Tierrero II, quebrada Tierrero I, quebrada del Fierro, entre otros afluentes perennes y estacionarios. Su disposición espacial es dendrítico, la mayoría de las quebradas presentan direcciones perpendiculares a las del drenaje principal, es decir N-S, coincidiendo con la dirección de las estructuras (fallas y fracturas), sin embargo debido a la actividad antrópica, algunas de las quebradas han sido desviadas del curso normal, con el fin de aprovechar su recurso para actividades mineras y para consumo humano (Figura 3).

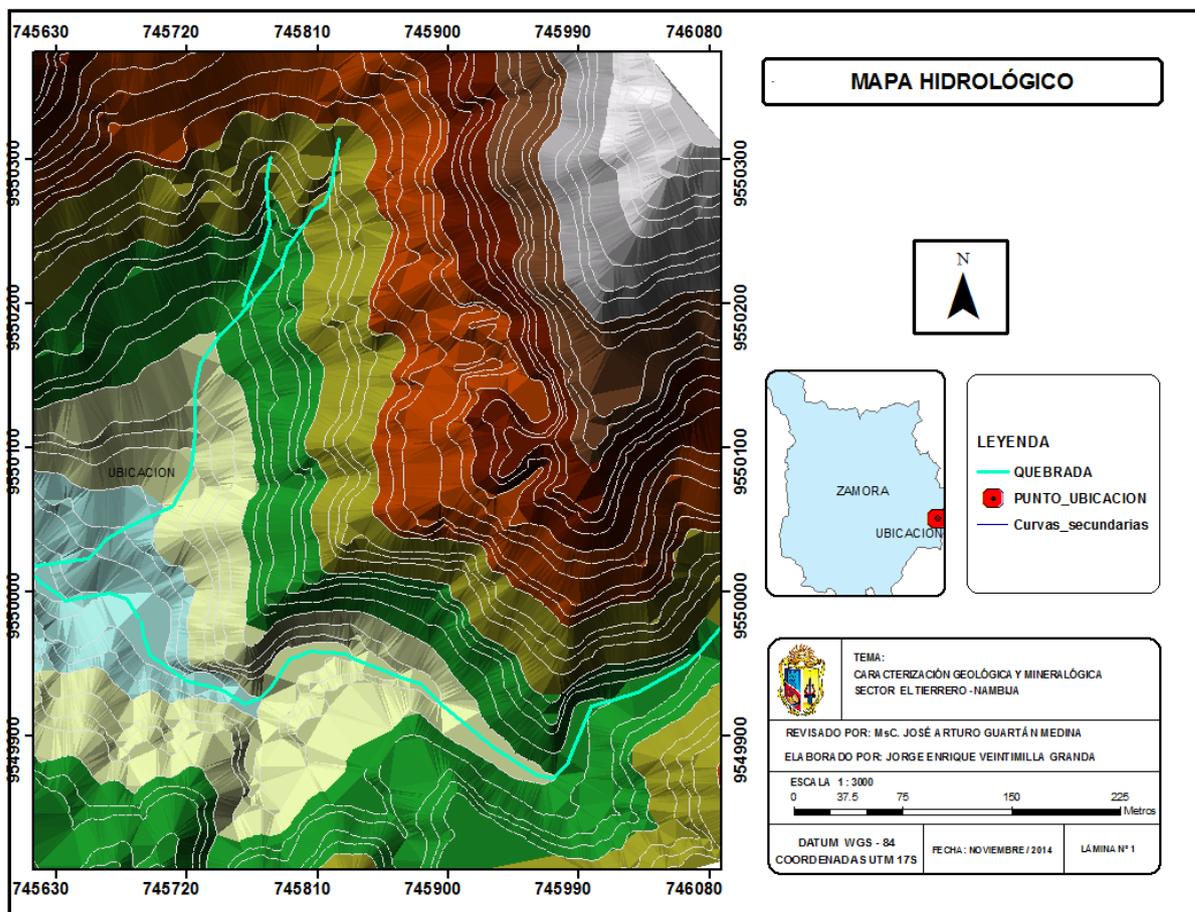


Figura 3. Mapa hidrológico de la zona
Fuente: El Autor

1.2 Geografía Humana

1.2.1 Población, aspectos económicos y sociales.

A inicios de los años 80 llegaron los primeros mineros al Distrito de Nambija, cuando surgió la fiebre del oro, cerca de 20.000 personas poblaron el sector; que por necesidad de ingresos se convirtieron necesariamente en mineros artesanales, lo cual por la actividad misma dio lugar a un asentamiento desordenado en condiciones de vida precarias e inseguras, sumado a una extracción del mineral donde entre el 40% y 60% de recuperación del oro se perdía.

Hoy en día el Distrito Minero de Nambija está vacío por dentro, las grandes mineras explotaron la mayoría del recurso mineral, solo quedan pequeñas asociaciones y mineros particulares. La población actual de Nambija no supera las 2.000 personas. Como servicios públicos existen: una escuela, centro de salud y un retén policial en funcionamiento.

En la actualidad los jornaleros inician sus labores mineras a las siete de la mañana y terminan a las cinco de la tarde, y lo realizan sin ningún tipo de seguridad industrial, percibiendo un ingreso diario de 10 dólares el jornal. Además, habitan en condiciones precarias en cabañas de madera, sin agua potable y sin alcantarillado.

CAPÍTULO II. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 Marco geológico

La geología del distrito minero de Nambija está basada esencialmente en el mapa geológico del Sur del Ecuador a escala 1:500.000 producido por el proyecto de la Cordillera Real (Litherland, et. al..., 1994)

La geología está representada por una secuencia de rocas del jurásico inferior, constituidas de argilitas, areniscas y arcillas con intercalaciones de potentes mantos de rocas andesíticas. La potencia de este paquete alcanza 500 m el cual descansa un paquete de cuarcitas de 150 m que hace contacto (en parte tectónico) con la zona mineralizada de skarn, que tiene una potencia de 100 a 120 m sobre la cual está en contacto discordante con arcillas de color rojo que rematan en corte.

Las rocas de skarn tienen estructura masiva, son de grano fino a medio, de color amarillo verdoso algunas veces con tonalidades ladrillo por la presencia de granates. Se localizan en la zona de contacto entre los volcánicos Piuntza con el batolito de Zamora y pórfidos post-batolíticos del Jurásico superior. En el área del yacimiento el intrusivo, está representado por una monzo-diorita de textura porfirítica y un pórfido cuarzo feldespático.

En el extremo sur del Cinturón Nambija, la Unidad Piuntza está parcialmente sobre la Unidad Isimanchi de la Formación Macuma. En la parte norte, en cambio la secuencia esta aparentemente sobrepuesta por las volcanitas calco-alcalinas Jurásicas de la Formación Misahuallí.

El distrito minero de Zamora comprende parte de la región morfo estructural de la Sierra del Cóndor dentro de la Zona Subandina. Este distrito incluye los campos mineros del Cinturón de Nambija, Campo Minero de Chinapinza y el Cinturón Porfídico San Juan Bosco (Figura 4).

Al microscopio en las rocas de skarn se observan las siguientes asociaciones de minerales (Paladines M. 1988).

- Piroxeno-granítica
- Cuarzo-sulfuro-clorita
- Cuarzo-carbonática

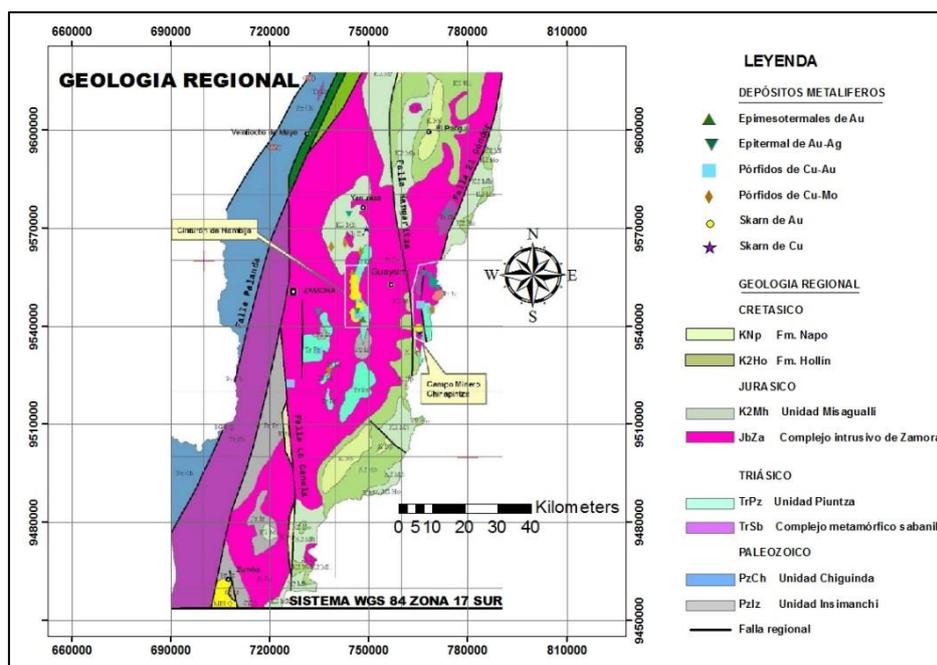


Figura 4. Mapa Geológico del distrito de Zamora.
Fuente: Prodeminca, 2000.

2.2. Evolución Geológica de la Cordillera del Cóndor

La Cordillera del Cóndor abarca el distrito de Zamora, se caracteriza porque en ella afloran litologías pre-batolíticas y sin-batolíticas, como consecuencia de formaciones metamórficas de sentido NNE-SSW en su flanco Oeste; la Unidad Chigüinda de edad Paleozoica perteneciente al terreno Loja de la Cordillera Real, representada por cuarcitas, filitas negras, esquistos grafiticos y pizarras; la cual limita hacia el Este con la Unidad Isimanchi, constituida de esquistos, filitas de bajo grado (entre 200-250 y 400-450°C), así como también de mármoles y meta-volcanitas, esta unidad se la correlaciona con la Formación Macuma, que forma parte del basamento metamórfico del distrito, al igual que la Formación Pumbuiza (600 a 360 Ma); la Unidad Sabanilla del Triásico representada por un conjunto de orto y paragneis de medio (entre 400-450 y 600-650 °C) y alto (más de 600-650 °C) grado; y del Jurásico como la Formación Upano, constituidas por andesitas verdes metamorfizadas, esquistos verdes, metagrauvascas intercaladas con esquistos pelíticos y grafiticos (Litherland, et. al...,1994). Además se constituye por formaciones volcánicas y volcano-sedimentarias de origen continental y marino de edad Triásica como la Unidad Piuntza (220 Ma), primera unidad litológica de edad Triásica conocida en el Ecuador (Litherland, et. al...,1994); y, el desarrollo de las Formaciones Isimanchi y Santiago de ambiente marino transicional considerada en una fase, volcánico de arco magmática tipo riff, durante el Triásico superior a Jurásico inferior (225 a 200 Ma); en el Jurásico medio se genera una

discordancia de margen convergente por el cual se origina etapas de vulcanismo y se instruye el Batolito de Zamora (220 a 144 Ma) que afecta a las mismas rocas (Díaz y otros, 2004) y posterior a etapas magmáticas más tardías del Batolito de Zamora (150 Ma); durante el Jurásico medio a Cretácico inferior se depositan vulcano-sedimentos que conforman el complejo Chapiza y al mismo tiempo se desarrolla el vulcanismo de la Unidad Misahuallí de transición Jurásica-Cretácica temprana, que sobre yace a la Formación Santiago y debajo de la Formación Hollín (Litherland, et. al...,1994), representadas con rocas volcánica de flujo, tobas, brechas tobáceas y rocas vulcano - clásticas, andesíticas y dacíticas, plegadas buzando hacia el Oeste, en la parte superior de esta secuencia se depositaron conglomerados finos y grauwackas como etapa final del vulcanismo. Cubierta en su flanco Este y Oeste por litologías post batolíticas (115 a 105 Ma) de facies marinas y continentales sedimentarias de transgresión y regresión que se originaron en un ambiente de tras arco continental en la cuenca Oriente (Prodeminca, 2000), depositándose durante el Cretácico Inferior, la Formación Hollín representada por areniscas cuarcíferas blancas y sobre esta se dispone la unidad de lutitas marinas y calizas negras de la Formación Napo; la cual por el techo después de un hiato en el Campaneano por la Formación Tena (75 Ma) del Cretácico Superior representada por capas rojas. Toda esta secuencia de rocas terciarias han sido instruidos desde el Cretácico Inferior a Superior (116 a 96 Ma) por stocks de granitoides tipo I y de pórfidos de alto nivel post-batolíticos de composición calco-alcalinos, como roca dioríticas a granodioritas de grano medio, instruidos cerca de la superficie asociados a rocas volcánicas, lo que ha generado un hidrotermalismo enriquecedor de minerales de interés económico relacionado a estructuras y a esfuerzos tectónicos regionales dinámicos y tensionales, originando depósitos porfídicos y epimesotermales descubiertos hasta la actualidad en el distrito; como los depósitos de cobre porfídico del cinturón San Juan Bosco, los skarn de Au y Cu del cinturón de Nambija, el depósito de Au y Ag de FDN, y los del campo minero de Pachicutza - Chinapintza (Prodeminca, 2000).

2.3. Estratigrafía del distrito minero Nambija.

La secuencia estratigráfica en el cinturón de Nambija tiene un espesor de unos cientos de metros y comprende estratos de grano fino y grueso interpretados como productos vulcano-clásticos y vulcano sedimentarios pertenecientes a la Unidad Piuntza del Triásico (Litherland et al... y otros 1994), en la zona de Nambija, también con calizas y depósitos epiclásticos. Estos estratos son instruidos por diques félsicos en La Fortuna, diques básicos y pequeños diques porfídicos monzonítico en Campanillas. Diques félsicos a dacíticos relacionados con

el pórfido de Cu-Mo David en Guaysimi Alto y cuerpos porfídicos Cu-Mo en Nambija- El Tierrero (Figura 5).

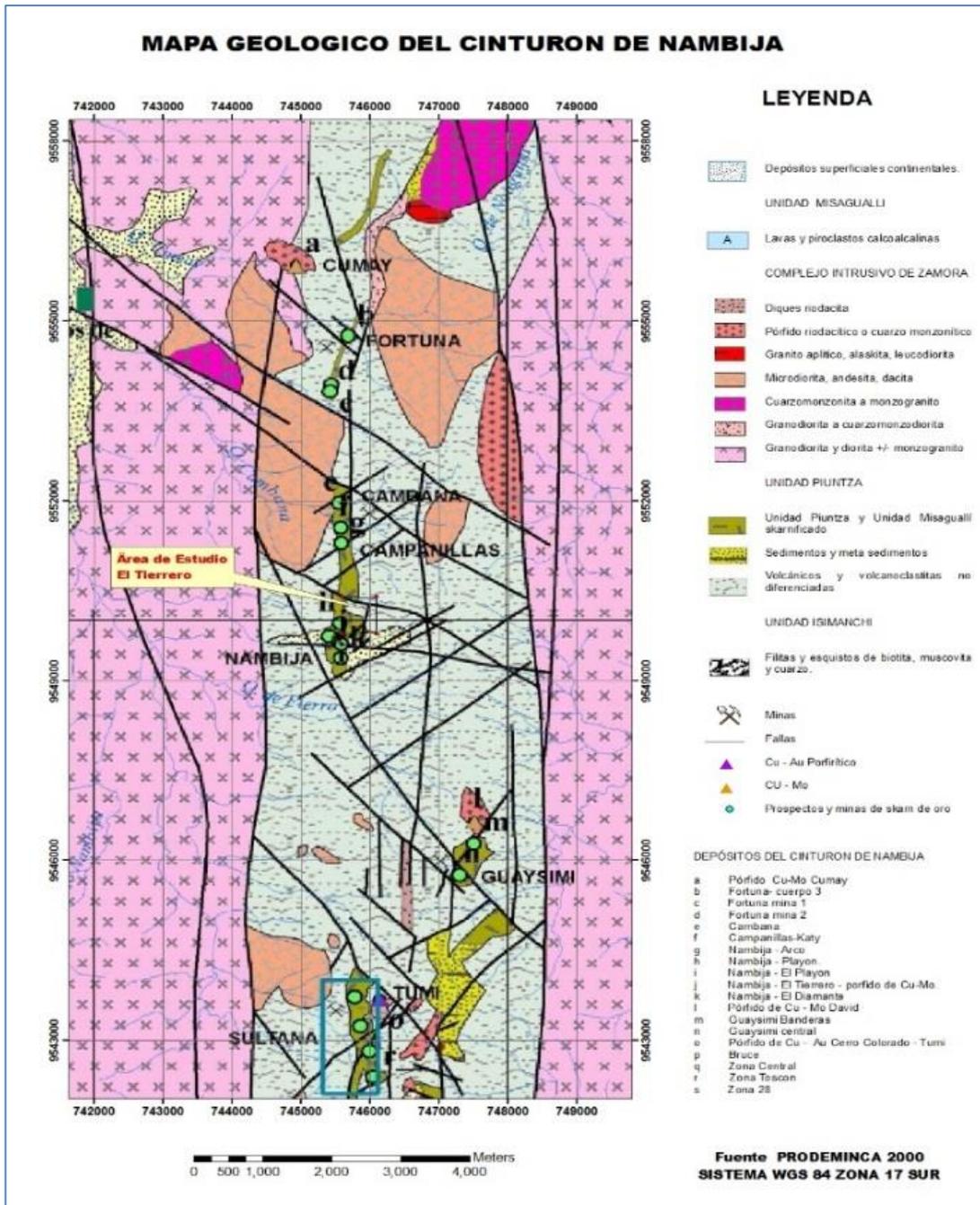


Figura 5. Mapa geológico del cinturón de Nambija.
Fuente: Prodemínca, 2000.

2.5. Estructura

De acuerdo al mapa realizado por Prodemínca en el año 2000, se puede apreciar que el principal sistema estructural en la zona son fallas de dirección N-S las cuales limitan a manera de contacto a las litologías y ponen en evidencia las rocas volcánicas y vulcano-

sedimentarias de la Unidad Piuntza (Triásico Medio a Tardío), con las rocas intrusivas del batolito de Zamora (Jurásico Temprano).

Estas fallas han formado un graben, probablemente durante el periodo de extensión en el Cretácico Medio, en el cual las rocas de la Unidad Piuntza se presentan a manera de roof pendants (trozos aislados de roca meta-sedimentaria que constituyen el techo de un intrusivo), además fallas secundarias con la misma dirección.

El segundo sistema estructural importante son fallas NE-SW, con un movimiento de los bloques de manera sinestral, estructuras que están estrechamente relacionadas con la mineralización de oro, especialmente en las zonas de intersección con fallas N-S a NNE-SSW (Prodeminca, 2000).

El tercer dominio estructural está presente por fallas NW-SE (con movimiento inverso), que truncan a las fallas NE-SW, mientras que las fallas WNW-ESE controlan el lineamiento de los “clavos de mena”.

El cuarto sistema estructural importante son fallas con ángulos bajos, subconcordantes con la estratificación, presentan buzamientos con ángulos entre 10° a 40°, con un probable movimiento inverso. Por último fallas transversales E-W posteriores a los sistemas de fallas existentes, con ángulo de tendencia a la verticalidad, generando un desplazamiento a las estructuras N-S.

2.6. Mineralización

a) Depósitos de skarn y alojados en skarn

El cinturón de Nambija incluye de Norte a Sur, los depósitos de skarn con oro de La Fortuna, Campana, Campanillas, Nambija, Guaysimi y Sultana (Paladines y otros, 1996).

Según Meinert (2000), el skarn en el cinturón de Nambija es del tipo de oro cálcico oxidado, el principal tipo de skarn en Nambija constituye un skarn de granate café que consta de granate de grano grueso con mayor o menor contenido de piroxeno.

Fontboté y otros (2004), indica que la precipitación de oro se ha dado durante el enfriamiento en la fase retrograda y no en las últimas etapas debido a la ausencia de oro en vetas ricas en sulfuros. La mineralización aurífera ocurre en vetillas, vetas y bolsonadas controladas estructural y litológicamente.

2.7. Alteración

Las principales alteraciones (Rodríguez, 2013) que se han encontrado en el área de estudio son:

a) Skarnificación.

Relacionados con metamorfismo de contacto y metasomatismo ligados a intrusiones que cortan las secuencias de rocas carbonatadas. Es un tipo especial de alteración en la que la litología original es determinante en la asociación mineral resultante. En Nambija este fenómeno puede ser considerado como un proceso pirometasomático porque los minerales como la andradita, tremolita y diópsido son de alta temperatura, económicamente es la mineralización más importante en Nambija pues la roca afectada por esta alteración es buena roca huésped para la mineralización de Au, esto se ve por la alteración que han sufrido las rocas y las texturas porfíricas, granates café miel asociadas con adularia y cuarzo lechoso.

b) Propilitización.

Se caracteriza por la asociación mineralógica clorita epidota, con o sin la presencia de albita, calcita, pirita y minerales accesorios como cuarzo, magnetita illita. Se encuentra afectando principalmente a las tobas. La alteración propilitica ocurre por lo general como halo gradacional y distal de una alteración potásica.

c) Sericítica.

Sus minerales predominantes son sericita, cuarzo y pirita. Esta alteración también ha sido descrita como cuarzo-sericítica o fílica, y representa unos de los tipos más difundidos.

La sericitización de los silicatos da como resultado un mosaico de cuarzo y sericita, que a veces destruye la textura original de la roca. Esta alteración ha sido encontrada en diseminados, conformando una asociación mineral integrada por: sericita, cuarzo, pirita, a veces clorita y rutilo. Gradada potásica hacia la zona central y a propilitica o argílica hacia la roca sin alterar. Este sulfuro se presenta como diseminación y fundamentalmente como venillas como se pudo evidenciar en las diferentes campañas realizadas de campo (Anexo 2, en afloramiento 23).

Otras alteraciones se ubican al sur del polígono en donde se pudo observar en una trinchera realizada por los mineros artesanales y dentro de las intercalaciones de las tobas meteorizadas y poco meteorizadas, es la presencia de patinas de óxido de hierro (limonita),

minerales arcillosos relleno de las fracturas de las rocas; y, pocas o muy escasas vetillas de piritas asociadas a este sistema mineralógico y paralelas a las fallas locales (Anexo 2, afloramiento 16).

También se observan alteraciones en términos de destrucción o lixiviación de las rocas que se encuentran altamente meteorizadas dando una coloración rojo claro y rojo oscuro en casi todo el polígono. Pero la alteración más importante constituye la ubicada en el Sur del polígono (Figura 6, Anexo 2 en afloramiento 22) por lixiviación de sulfuros y posterior decantación de sales de cobre, óxido de manganeso, carbonato de Cu, asociadas por sus tonalidades típicas durante el proceso de lixiviación.



Figura 6. Concentración de sales de cobre en Tierrero–Nambija.
Fuente: El Autor.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Recopilación y validación de información

Se realizó la compilación bibliográfica de información del cinturón mineralizado de Nambija y del sector El Tierrero (Prodeminca 2000, J.B. Kennerley 1975). Estratigrafía y geodinámica de las cuencas Neógenas de los Andes, Sur del Ecuador realizado por Hungerbuhler, et al. (2002), con la finalidad de establecer relaciones litológicas y estructurales de los yacimientos y depósitos conocidos; analizando con detenimiento los trabajos realizados por las empresas Andos S.A y Geominas, en razón de la cercanía a la zona de investigación, así como publicaciones referentes a depósitos de skarn y yacimientos hidrotermales.

3.2. Trabajo de campo

Se destinaron siete salidas de campo en las que se procedió a realizar el levantamiento geológico-estructural detallado de toda la zona de investigación, valiéndonos de afloramientos antrópicos superficiales (Figura 7). Sin embargo en algunos casos, debido a que se encuentran cubiertos por escombreras o están fuertemente meteorizadas, se optó por ingresar a las galerías cercanas a fin de describir de mejor manera la roca. Adicionalmente se recolectó muestras para la clasificación petrográfica y mineralógica, datos que nos servirán en los análisis de resultados de la presente investigación.



Figura 7. Toma de datos estructurales en campo El Tierrero-Nambija.
Fuente: El Autor.

El equipo utilizado para la realización del trabajo de campo: GPS, Brújula, Martillo de geólogo, Fundas plásticas, Equipo de medición (Cinta métrica, escalímetro), Kit Mineralógico (Lupa, lápiz, rayador, ácido clorhídrico al 10%), Libreta de campo, Carta topográfica.

a) Análisis de afloramientos

La caracterización geológica del área se lo realizó en función de la descripción litológica encontrada en los diferentes afloramientos, para ello partimos de una visita técnica de observación del lugar y el reconocimiento en la base topográfica superficial.

En los afloramientos superficiales se empleó una descripción tipo zoom, es decir de lo más lejano a lo más puntual, descripción visual de la litología, toma de datos estructurales de las familias de diaclasas, grado de meteorización, los afloramientos descritos son georeferenciación; en lugares en donde la meteorización superficial es muy alta en la cual no permite determinar el tipo de litología se procedió a identificar el tipo de roca en el interior de las labores mineras cercanas al lugar identificado (Figura 8).

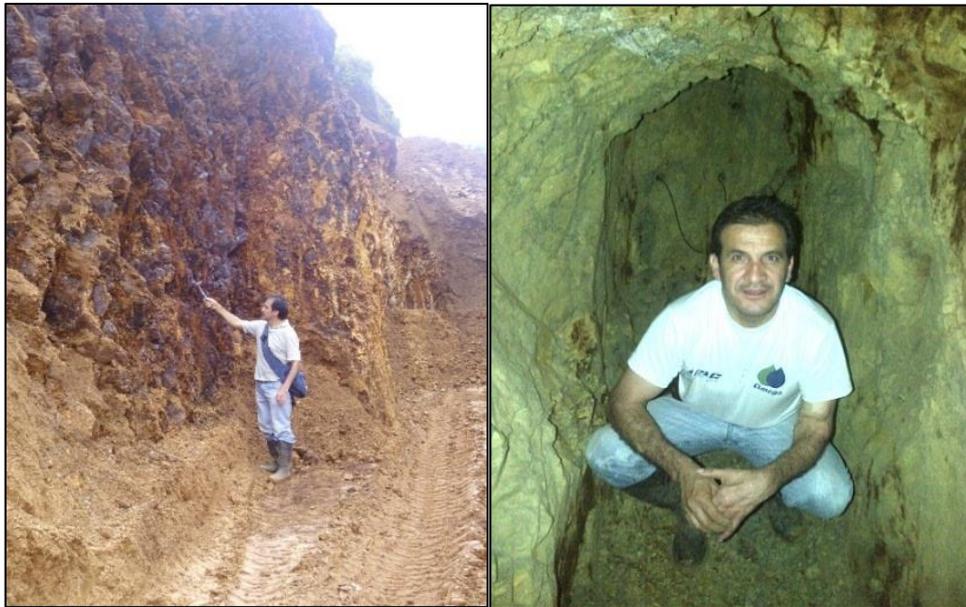


Figura 8. Análisis de afloramientos en cortes vías y galerías El Tierrero–Nambija
Fuente: El Autor.

El análisis macroscópico, consistió en determinar el tipo de roca, composición mineralógica; así, como determinar posibles alteraciones.

b) Toma de muestras

La selección de las muestras (Figura 9) es un proceso muy importante en el estudio ya que de ellas derivan los resultados de los análisis petrográficos y mineralógicos, por tal motivo nunca puede deducirse a ciegas o al azar, debe ser llevada a cabo de conformidad con las normas geológicas orientadas al objetivo del estudio. Se seleccionó un total de ocho

muestras representativas del polígono, ubicadas en sitios estratégicos, las mismas que corresponden a los diferentes afloramientos litológicos.



Figura 9. Selección de muestras en campo, El Tierrero – Nambija
Fuente: El Autor.



Figura 10. Escombreras en El Tierrero – Nambija
Fuente: El Autor.

En ciertos sectores de la superficie era imposible describir el tipo de roca ya que estaban cubiertos por escombreras (Figura 10) que con el tiempo se convierten en suelos residual. Para verificar el tipo de litología en estos sectores se procedió a verificar en el interior de las diferentes labores mineras la existencia de zonas de contactos litológicos, fallas, zonas mineralizadas y tipos de litologías, de tal manera que nos den una idea clara del contexto mineralógico y petrográfico en el área.

3.3. Trabajo de laboratorio

La fase de laboratorio se realizó en dos etapas: preparación de las muestras y el análisis mineralógico, que se efectuaron en el Laboratorio de Minería y Metalurgia de la Universidad Técnica Particular de Loja.

3.3.1 Preparación de muestras para el análisis microscópico

Las muestras obtenidas en campo se someten a un proceso de preparado para la investigación petrográfica y mineralógica; para conseguir los objetivos planteados se trabajó en el análisis de secciones pulidas y triturar la roca para la mineralogía al microscopio.

a) Trituración

Con ayuda de una trituradora de mandíbulas (Figura 11) se procede a la trituración de la roca con el objeto de reducir el tamaño de la partícula hasta liberar los minerales, el tamaño estimado que se utilizó para el análisis de los minerales es de 2 mm; el cual permite observar los minerales liberados al microscopio.



Figura 11. Trituradora de mandíbulas (Laboratorio de Geología y Minas de UTPL).
Fuente: El Autor.

b) Deslamado

La roca triturada con el tamaño en el cual están liberados los minerales se procede a eliminar las lamas, material muy fino que impide la visibilidad normal de los minerales bajo el microscopio, para el deslamado se utilizó la batea concentradora (platón), es un proceso manual realizado con ayuda de movimientos circulares y agua. La agitación debe ser rítmica

y acompañada de fricción de la muestra con la mano sobre la batea para limpiar la muestra de la mejor forma (Figura 12).



Figura 12. Proceso de deslamado con batea concentradora.

Fuente: El Autor.

c) Secado

Una vez eliminados los finos de la muestra a través del deslamado con platón, se realizó el secado al horno a una temperatura de 100°C , constantes durante 24 horas, tiempo necesario para eliminar el agua contenida en el sedimento y poder observar al microscopio con facilidad (Figura 13).



Figura 13. Horno de secado de muestras (Laboratorio de Geología y Minas de UTPL).
Fuente: El Autor.

3.3.2 Elaboración de secciones pulidas

Para añadir y complementar el estudio petrográfico y mineralógico, se efectuó la elaboración de cuatro secciones pulidas para su análisis en el microscopio polarizador, en el que podremos obtener datos sobre la composición mineralógica de la muestra. La preparación de la sección pulida se detalla a continuación:

a) Selección de roca

Se escogió muestras con presencia de mineralización, gran cantidad de sulfuros (Figura 14).



Figura 14. Prototipo de muestra para secciones pulidas.
Fuente: El Autor.

b) Corte de roca

El corte se efectuó utilizando la maquina cortadora de disco adiamantado tipo LAPRO 18 (Figura 15), como es de conocimiento el tamaño de la roca no debe superar los 30 cm, tamaño adecuado que se adapta a las medidas de la máquina que realizará el corte.



Figura 15. Máquina de corte de rocas ISOMET LAPRO 18 (Laboratorio de Geología y Minas de UTPL).
Fuente: El Autor.

La roca es cortada en prismas rectangulares de dimensiones: 2 x 2 x 1,5 cm. medidas que se adaptan al molde de impregnación. Una vez terminado el proceso de corte de la muestra se procede al secado durante cinco días en estufa a una temperatura de 60°C.

c) Lijado

El espécimen obtenido después del corte se procede a desbastar por una de las caras de mayor interés, cuyo objetivo es eliminar las imperfecciones. El lijado de los prismas rectangulares se realiza en la maquina lijadora (Figura 16), utilizando lijas abrasivas con diferentes numeraciones, al iniciar el proceso se utilizó las lijas 120 y 240, posteriormente la lija 400 y 600, finalmente la lija 800. Se verifico su uniformidad con ayuda del calibrador y del microscopio.



Figura 16. Máquina de lijado METASERV (Laboratorio de Geología y Minas de UTPL).
Fuente El Autor.

d) Pulido de la muestra

Se pule la muestra con la pulidora-desbastadora Metaserv (Figura 17), con dos discos, el primero de color blanco con solución de suspensión de diamante de 4 μm , y el segundo de color café, con una solución de suspensión de diamante de 6 μm .



Figura 17. Máquina de pulido (Laboratorio de Geología y Minas de UTPL).
Fuente: El Autor.

El objetivo de este procedimiento es eliminar todas las rayas que pueda presentar la muestra, favoreciendo así la observación al microscopio. La muestra resultante se somete al secado según la norma descrita anteriormente (secado).

e) Resinado

El proceso para el resinado de la sección pulida (Paternostre, 1994, pp.20), se detalla a continuación:

- Preparar la resina y el endurecedor con la relación 5:1,5 partes en los vasos de papel.
- Mezclar acetona en la misma cantidad que el endurecedor para mejorar la fluidez de la mezcla.
- Agitar durante 1 minuto con movimientos suaves para evitar la formación de burbujas.
- Aceitamos la briqueta por la parte interior, para evitar que la resina se pegue y sea imposible de sacar la sección pulida de esta.
- Colocar una pequeña cantidad de la mezcla en los moldes.
- Situamos en el molde la muestra de roca, ubicando la cara pulida hacia abajo.
- Añadimos más resina hasta que cubra totalmente la muestra de roca, sin agitar para evitar burbujas dentro del molde.
- Ubicamos los moldes con mucho cuidado en la bomba de vacío (Figura 18), el sistema debe llegar a 226 mm de Hg, se comprobó que no exista entradas de aire al circuito, luego se hace entrar aire poco a poco en el sistema, hasta regresar a la presión atmosférica normal, por último se deja enfriar y endurecer durante 48 horas

Como producto final del procedimiento se obtuvo la sección pulida, a la que se revisó su uniformidad con el calibrador y se pulió nuevamente, luego se observa y analiza en el microscopio polarizante.



Figura 18. Equipo de impregnación, bomba de vacío (Laboratorio de Geología y Minas de UTPL).

Fuente: El Autor.

f) Pulido fino y final

El proceso se inicia al pasar las muestras resinadas, en la maquina pulidora, haciendo uso de un paño especial para pulido, proceso que implica pasar cada muestra en la pulidora con un intervalo de 20 minutos añadiendo en el paño dos o más gotas de suspensión de diamante de 1 micrón (líquido amarillo), según sea el requerimiento, para después seguir puliendo con igual intervalo de tiempo pero, añadiendo en el paño dos o más gotas de suspensión de diamante de 6 micrones (líquido azul), según se va realizando el pulido en la briqueta.



Figura 19. Briquetas obtenidas del proceso

Fuente: El Autor.

3.3. Trabajo final

Con la ayuda del microscopio petrográfico se analizaron las distintas muestras tomadas en campo en los diferentes afloramientos, con el fin de describir los minerales por sus propiedades físicas (dureza, forma, color, magnetismo) y determinar el tipo de roca en base a su composición mineralógica.

El estudio de las secciones pulidas se realizó con el microscopio petrográfico de polarización con luz reflejada, las propiedades ópticas que se analizan son: color, refractancia, birrefringencia, pleocroísmo, anisotropía, isotropía, dureza y reflexiones internas en láminas delgadas y secciones pulidas, mediante nicoles paralelos, y cruzados.

El análisis de la información obtenida en el trabajo de campo y laboratorio, se presenta en los contenidos subsiguientes, para el mapa final de la geología se utilizó el Software de ArcGIs 9.3 y AutoCad 2012.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Geología de la zona estudiada

De los datos obtenidos en campo durante el levantamiento geológico-litológico y los resultados obtenidos en laboratorio se realiza la descripción de la geología presente en el área de estudio. En la superficie se encuentra un suelo residual debido a la acción de agentes exógenos, por debajo de estas encontramos rocas fresca con diferentes litologías como skarn, andesitas, tobas; el enriquecimiento de oro se encuentra alojado en los skarn.

4.1.1. Litología

En base al área de investigación reconocida y al mapeo geológico de los afloramientos observados se ha podido determinar cuatro unidades litológicas.

a) Skarn

Aflora principalmente al Noroeste del polígono, la roca presenta una textura granular con colores verdes claros, mineralógicamente se compone de epidota, piroxeno, granate, clorita, piritita con poco contenido de carbonato evaluado por su reacción al ácido clorhídrico al 10%, además presenta xenolitos de roca de composición ácida.

La roca es muy diaclasada las aberturas son rellenas de material tipo limonítico, oxidaciones de color anaranjado. Existen predominios localizados de epidota cerca al contacto con las andesitas mientras que en aproximaciones del contacto con las tobas andesíticas mineralizadas se observan skarn de granate y skarn de calcita.

El oro se introdujo en las unidades estratificadas a lo largo de las fallas extensionales muy inclinadas a verticales, este suceso se presentó bajo condiciones epitermales, acompañado de una propilización del skarn. En el Tierrero de Nambija, la mineralización es baja en sulfuros, localmente contienen significativas cantidades de magnetita y rodonita, está dominada por una alteración potásica (Figura 20).



Figura 20. Afloramiento de skarn (El Tierrero).
Fuente: El Autor.

Sus minerales esenciales son muscovita, biotita y feldespato potásico, en especial estos dos últimos. Comúnmente se asocian con anhidrita y carbonatos con hierro mientras que los minerales de las arcillas están ausentes. El feldespato potásico se presenta en diferentes ambientes, así bajo la forma de adularia se asocia a fuentes termales y depósitos epitermales. Regionalmente corresponde a la Unidad Misaguallí skarnificado de la Unidad Piuntza.

b) Andesitas

La andesita es una roca ígnea volcánica de composición intermedia, matriz porfírica, compuesta de plagioclasa y minerales ferromagnésicos como piroxeno, biotita y hornblenda. También con cantidades menores de sanidina y cuarzo. Los minerales grandes como la plagioclasa son visibles a simple vista mientras que la matriz está compuesta de granos minerales finos o vidrio (Figura 21).

Se ubica en el centro del polígono cuya dirección es NE - SW, estructuralmente se encuentra altamente fracturado, rocas de color gris claro, textura porfídica, se observa la presencia de pirita diseminada sobre la matriz.

La presencia de granates y finas vetillas de cuarzo a manera de hilos en las fracturas tienen dirección preferente, Este-Oeste. El macizo se presenta muy fracturado y los contactos litológicos tanto en techo como piso están determinados por fallas.



Figura 21. Roca andesita.
Fuente: El Autor.

Regionalmente esta litología pertenece a los volcánicos y volcanoclastitas no diferenciadas de la Unidad Piuntza.

c) Tobas andesíticas mineralizadas

Este tipo de roca se encuentra altamente fracturado y meteorizado, presentando lineamientos principales de fracturas en dirección Norte-Sur, presenta mineralización de sulfuros como pirita la que esta diseminada, y pirita en finas vetillas con espesores entre 1 a 2 cm con dirección Oeste-Este. En esta litología se verifica la presencia de micro vetillas de cuarzo de dirección Este-Oeste que rellenan las fracturas con los mismos lineamientos.

En general presentan una coloración oscura debido a la presencia de minerales ferro magnesianos (magnetita, hematita) dentro de la matriz y relleno de las diferentes familias de diaclasas (Figura 22).

Se encuentra al Norte y Sur del polígono, el bloque Norte está en contacto con el skarn y por el Este con las tobas. El bloque Sur las tobas andesíticas mineralizadas está en contacto por el Oeste con las andesitas cuyo contacto es discordante y fallado. Los afloramientos principales se encuentran al Sur (745969E - 9550124N) y en el Norte (746054E - 9550356N) del polígono de estudio. Este tipo de litología descrita pertenece a la Formación Piuntza.



Figura 22. Afloramiento de toba andesítica mineralizada.
Fuente: El Autor.

d) Tobas

La toba es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños.

Se observa a lo largo de la vía que conduce al Tierrero, así como en la parte superior del polígono, presenta rocas con textura afanítica, tonalidad gris oscuro, se encuentra intercalada con tobas vitro-andesíticas.

Estructuralmente se encuentra fracturado, y sus fracturas están rellenas de óxidos, en algunos sectores llegan a formar pátina de hierro; generalmente son rocas de color claro por la presencia de un alto porcentaje de plagioclasas. Están en contacto por el Oeste con las tobas andesíticas mineralizadas y por el Norte con las andesitas (Figura 23).

Se la ha clasificado como estéril, o material de ganga dentro del yacimiento debido a que no presenta en los afloramientos mapeados mineralización de interés económico. Se encuentran altamente meteorizados, tanto en piso como en techo. Los contactos de esta litología están definidos por fallas que tienen direcciones de 261°N con buzamiento 67°SE ; y, 286°N con buzamiento de 43°SW los mismos que se han documentado en taludes antrópicos y bocaminas.



Figura 23. Toba afloramiento N° 15.
Fuente: El Autor.

En el sector de estudio las escombreras ubicadas cerca de las boca minas, con el transcurrir del tiempo se ha convertido en suelos residuales que llegan a tener potencias entre 0,50 m máximo 2 m, en algunos casos ubicados por debajo de la capa vegetal; esto se lo evidencia en la parte alta del polígono sector Sur el cual presenta un suelo arcillo-limoso de tonalidad rojiza

En el Anexo 1, Mapa 4 se muestra la distribución de las litologías anteriormente descritas, las mismas que conformaría la geología del polígono del presente estudio.

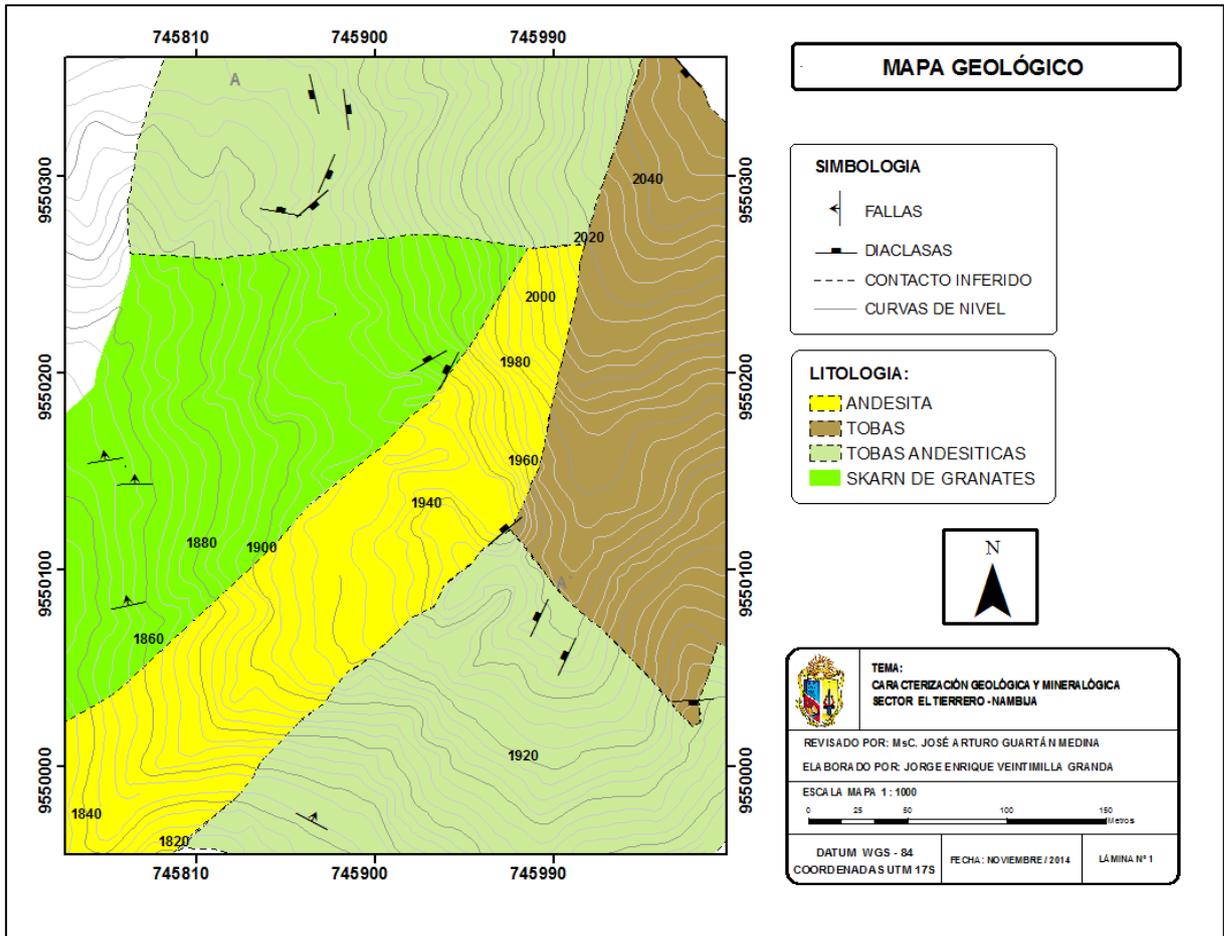


Figura 24. Mapa geológico del sector El Tierrero – Nambija
 Fuente: El autor

4.1.2. Estructura

Se encuentra afectada por eventos tectónicos en tiempos geológicos, que dieron lugar al fracturamiento de la roca y la formación de fallas reconocidas por las estrías que se forman en los planos de falla (Figura 24), algunas de estas fallas se rellenan con fluidos hidrotermales enriquecidos, responsables de mineralización.

Las principales fallas encontradas en el sector El Tierrero tienen dirección NE–SW con un promedio de 194°N con buzamiento entre N 51°- 75° W y constituyen los contactos entre las unidades litológicas del área (andesitas, tobas andesitas mineralizadas y skarn), y, como secundaria una falla de dirección E–W (270°N, buzamiento 70°S, cortando a las estructuras anteriores en la parte alta del sector del polígono, se pueden evidenciar procesos compresivos y de distensión del macizo debido a las fuerzas tensionales que en su momento generaron las fallas se ve claramente los planos de ruptura, estrías, arcilla y material milonitizado producto de la fricción de las rocas, un alto grado de fracturas en la

litología , sugieren este tipo de proceso, diferentes rumbos y buzamientos agrupan a familias de discontinuidades. Esto se puede observar en el Anexo 1 del Mapa 4.



Figura 25. Plano de falla (estrías y milonita).
Fuente: El Autor.

Estas estructuras están estrechamente relacionadas con la mineralización de oro especialmente en las zonas de intersección con las fallas N–S, a NNE–SSW, esto se aprecia en las direcciones de las galerías construidas (vetas mineralizadas). Por último se tiene las de dirección E–W posteriores a los sistemas de fallas existentes, presentan un ángulo con tendencia a la verticalidad, generando un desplazamiento a las estructuras N–S.

4.1.3. Mineralización

De acuerdo a la prospección de campo, las muestras de roca analizadas macroscópicamente y en laboratorio se pueden definir.

La mineralización está compuesta principalmente de pirita, calcopirita, galena, cuarzo, granates, malaquita y otros en menor contenido.

También se tiene una gran cantidad de afloramientos en donde se observa minerales lixiviados, (ferro magnesianos) que dan su coloración debido al grado de alteración en que se encuentra, (limonita, patina de hierro, entre otros) la mineralización está asociada a los periodos de relleno de soluciones hidrotermales post formación de las fallas N–S.

En los skarn se forman vetillas cuyas fracturas hay una diseminaciones subordinadas de contenidos de sulfuros (pirita y calcopirita) pueden alcanzar el 20%, pero normalmente son menores al 10% en términos de contenidos en las rocas (Figura 25)



Figura 26. a) Presencia de hematita, óxidos por procesos de meteorización bajo. b) Colores típicos de lixiviación de minerales ferromagnesianos según el grado de intemperismo, se presentan en combinación de colores. c) Mineral de malaquita sobre una andesita.
Fuente: El Autor.

4.2. Análisis petrográfico y mineralógico de secciones pulidas

Para estos estudios se utiliza el microscopio Olympus BH-2 y las tablas de las propiedades ópticas de los minerales (Anexo 3, b) que existen en el laboratorio de mineralogía de la UTPL. Esto permite profundizar los estudios mineralógicos, determinar un porcentaje aproximado y clasificar las diferentes tipos de rocas y minerales.

Las propiedades que se estudian de los minerales, en este tipo de secciones corresponden a la presencia de minerales opacos, color, refractancia, birrefringencia y pleocroísmo en nicols paralelos así como la anisotropía y reflexiones internas en nicols cruzados.

Partimos de observación al microscopio de la roca, previamente seleccionada, triturada y deslamada mediante los procesos descritos en capítulo tres, los cuales dieron valores que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición mineralógica de las muestras de roca en El Tierrero - Nambija.

Mineral	M1 Toba Andesitica	M2 Andesita	M3 Skarn	M4 Toba
Pirita FeS₂	29%		25%	4%
Cuarzo... SiO₂	30%	34%	27%	30%
Epidota Cu₂Fe³⁺+Al₂(Si₂O₇)(SiO₄)₀ (OH)	20%	3%		
Malaquita... Cu₂CO₃(OH)₂	8%	3%	5%	
Cinabrio... HgS	3%	1%		
Bornita... Cu₅Fe₄	1%			
Calcopirita... CuFeS₂	1%		3%	
Granates... (CaFeMgMn)₃(AlFeMnCrTiV₂)(SiO₄)₃	7%	23%	15%	30%
Calcita... CaCO₃			2%	
Pirrotina... Fe₇S₈		3%	1%	5%
Plagioclasas... (NaCa)(SiAl)₃O₈			20%	
Grosularia... Cu₃Al₂(SiO₄)₃		25%		
Adularia... KAlSi₃O₈		7%		
Magnetita... Fe²⁺(Fe₃₊)₂O₄				5%
Hematita... Fe₂O₃				9%
Olivino... Al₂SiO₄				9%
Goethita... FeO(OH)				7%

Fuente: El Autor.

Profundizando en la investigación mineralógica para determinar su composición mineralógica en general se realiza la interpretación de las secciones pulidas siguiendo los procedimientos para el efecto.

Se toman tres muestras representativas del sector para la interpretación mineralógica que corresponde a muestra de skarn mineralizado.

a) Muestra TIER-001.

En la sección pulida de la muestra TIER-001 (Figura 26), podemos diferenciar los siguientes minerales: Sulfuros (CPy = Calcopirita, Py = Pirita, Sf = Esfalerita) y Ca = Calcita; la geometría de las formas de intercrecimiento de los minerales corresponde: a) En corona, b) Laminar, c) Diseminado.

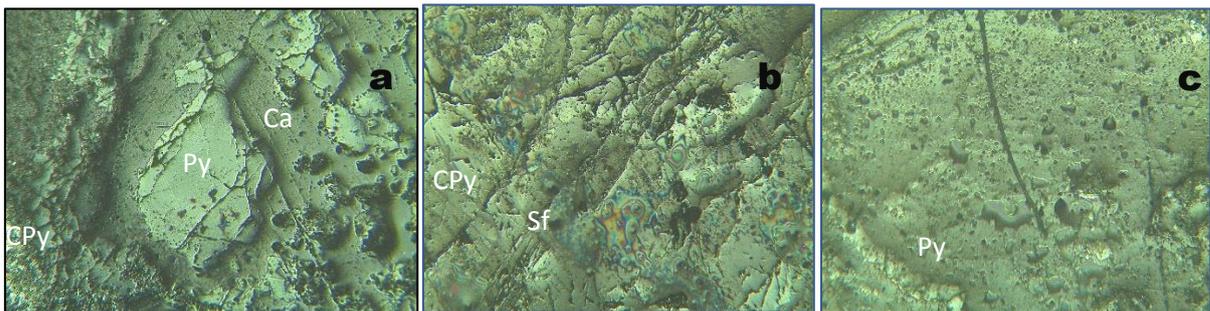


Figura 27. a) Presencia de (CPy) calcopirita, (Py) pirita, (Ca) calcita, b) (CPy) calcopirita predomina en la sección, c) Los principales minerales son (CPy) calcopirita y (Py) Pirita.
Fuente: El Autor.

Tabla 4. Porcentaje de minerales en secciones pulidas (TIER-001) en función del cuadro de observación.

Mineral	Porcentaje %
Pirita	10 – 15
Calcopirita	25 – 30
Calcita	10- 15
Esfalerita	5 – 10
Ganga	1 – 2 %

Fuente: El Autor.

Presentan cristales idiomorfos, debido a que han cristalizado en soluciones que han enfriado lentamente, en las secciones también se puede diferenciar cristales sub idiomorfos. La zonación indica, normalmente, un cambio en la composición del cristal que corresponde al hecho de que el fluido a partir del que se desarrolla el cristal también cambia de composición. Muchos minerales no tienen una composición química fija sino que pertenecen a una serie de solución sólida, cuando el cristal crece, su capa externa no tiene igual composición que la más interna sobre la que se ha desarrollado. Su textura es pórfido intersticial, inequigranular con fenocristales de pirita y calcopirita principalmente.

El cambio de color del piroxeno es menos pronunciado, pero en general refleja un aumento progresivo en hierro y/o manganeso, es así que para algunos sistemas de skarn, estos patrones de zonación puede ser "extendida" a una distancia de varios kilómetros y puede proporcionar una guía para la exploración.

El porcentaje en contenido de los minerales principales se ha estimado mediante ordenador en cuadros. Básicamente compuesta de sulfuros propios de la mineralización de la zona

b) Muestra TIER-002.

La alteración hidrotermal generalmente incluye la respuesta mineralógica, textural y química de las rocas a un cambio ambiental, en térmicos químicos y termales, en la presencia de agua caliente, vapor o gas, ocurre a través de la transformación de fases minerales, crecimiento de nuevos minerales, disolución de minerales, precipitación, y reacciones de intercambio iónico entre los minerales constituyentes de una roca y el fluido caliente que circuló por la misma.

En la muestra TIER-002, se clasifica como skarn debido a su textura granular compuesta principalmente por pirita (Py), calcopirita (CPy), esfalerita (Sf) y galena (Gn), soportada en una matriz calcárea y presencia en menor grado de malaquita y clorita. La observación en la sección pulida preparada se la realizó con nicols cruzados y un objetivo de 5x, determinándose los siguientes minerales en una sección como se puede apreciar en la Figura 27; la forma de la geometría básica de inter-crecimiento de los minerales, corresponde a) corona, b y c) simple, bordes rectilíneos o ligeramente curvados.

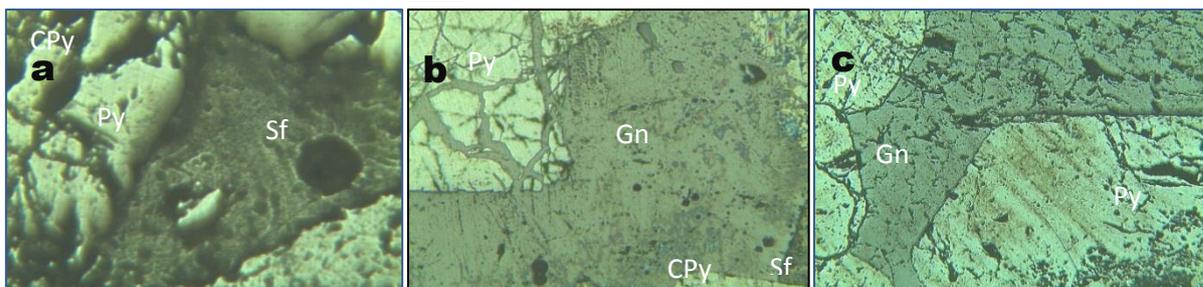


Figura 28. a) Sección pulida donde se observa (Py) pirita, (Sf) esfalerita. b) (Py) pirita, (Gn) galena, (CPy) calcopirita y (Sf) esfalerita. c) Presencia de (Py) pirita, (Gn) galena, se puede evidenciar claramente la zonación de minerales.

Fuente: El Autor.

Tabla 5. Porcentaje de minerales en secciones pulidas (TIER-002) en función de cuadro de observación.

Mineral	Porcentaje %
Pirita	30 - 40
Calcopirita	5 - 10
Esfalerita	5 - 10
Ganga	1 - 2

Fuente: El Autor.

Como se puede ver claramente la muestra está dominada por sulfuros, (CPy = Calcopirita, Py = Pirita, Sf = Esfalerita, Gn = Galena) se observa claramente las zonaciones, cristales idiomorfos, la matriz evidencia circulación de soluciones hidrotermales así como las inclusiones que existen en los espacios interminerales, producto de las altas presiones de la solución. Los minerales de la ganga, por tratarse normalmente de minerales transparentes, reflejan un porcentaje muy bajo de la luz que incide en ellos, por lo que aparecen con colores grises muy oscuros.

La muestra presenta un relieve diferencial debido a las distintas durezas de los minerales que la componen. Los minerales más duros aparecen en relieve con respecto a los minerales más blandos. En la foto anterior (Figura 27) se puede apreciar la diferencia de

relieve entre los granos de pirita (muy duros) y la esfalerita (más blandos). Los muy duros, si están solos, pueden pulirse bien si el tiempo de pulido es suficiente. La afluencia de agua meteórica y la consiguiente destrucción de los minerales durante la alteración retrograda es uno de los rasgos distintivos de la formación de skarn en un entorno superficial.

Tanto el granate y piroxeno son de color verde pálido. Además, algunos de los granates son también marrón pálido y amarillo. Ese verde pálido, amarillo granate es típico de zonas distales de skarn y es similar al granate en muchos skarns de Zn.

En la sección pulida, el granate está fuertemente zonificado como es típico de skarn hidrotermales de granate. Hay núcleos moderados y de granos gruesos que indican múltiples pulsos de fluidos hidrotermales.

c) Muestra TIER-003

En la sección pulida vista al microscopio con el objetivo 5x se observa maclas de contacto rectangulares y de forma cónica como en el caso de la calcopirita. No obstante presentan una zonación y en el caso de la pirita y calco pirita minerales bien desarrollados. La isotropía se pone de manifiesto porque el color de polarización no cambia al girar la platina. Habitualmente, un mineral opaco isótropo no se ve negro, simplemente no cambia de color. La geometría de crecimiento intergranular corresponde: a) Mirmequítico o eutéctico, b y c) Simple, bordes rectilíneos o ligeramente curvados.

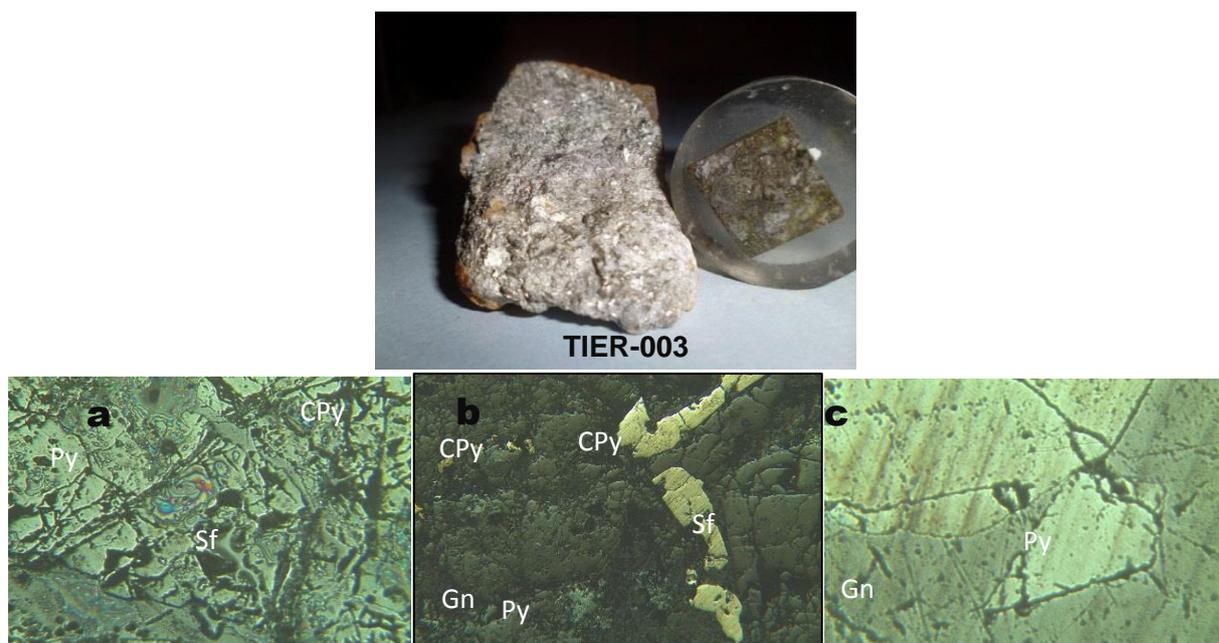


Figura 29. a) Sección con contenido de (Py) pirita, (CPy) calcopirita, (Sf) esfalerita. b) (CPy) Calcopirita, (Gn) galena, (Py) pirita, (Sf) esfalerita. c) (Gn) Galena, (Py) pirita. Fuente: El Autor.

Los minerales opacos en muchos casos son cerradamente asociados con características retrogradas y reflejan altos estados de oxidación y sulfuración y menores temperaturas que tempranos acompañamientos a la mineralización.

El grado al cual el skarn ha sido afectado depende los sulfuros-hidrosilicatos, éstos son relacionados a profundidad y proximidad a un sistema hidrotermal de ambiente abisal, mostrando menores alteraciones tardías que en ambiente hipoabisal y skarns distal muestran menos alteración que skarns. La alteración clorita-epidota de endoskarn o propilítica de rocas de diques ígneos son característicos de estos estados. En muchos casos, alteración cuarzo-moscovita-pirita de rocas plutónicas pueden ser correlacionados a las etapas hidrosilicatos, tanto en ambientes hipoabisal y algunos ambientes abisales.

Los porcentajes deducidos en la tabla siguiente nos indican una asociación de sulfuros que se han formado durante la circulación de soluciones hidrotermales por las fracturas y durante el metasomatismo de contacto que dio lugar a la formación del distrito minero de Nambija.

Tabla 6. Porcentaje de minerales en secciones pulidas (TIER-003) en función de cuadro de observación.

Mineral	Porcentaje %
Pirita	30 – 40
Calcopirita	25 – 30
Esfaletita	5 – 10
Galena	1 – 2 %
Ganga	1 – 2

Fuente: El Autor.

Debido a la significativa circulación hidrotermal continua en bajas temperaturas, los depósitos en períodos tardíos son limitados a escaso relleno de drusas de cuarzo-carbonatos-sulfuros, en otros, grandes porciones de los skarn son convertidos a mezclas de cuarzo, calcedonia, arcillas, carbonatos, sulfuros y óxidos de hierro. La existencia de skarn tempranos (en formación) puede solamente ser reconocida por la presencia de minerales relictos o minerales pseudomorfos.

CONCLUSIONES

- El sector El Tierrero está conformado por las siguientes litologías: skarn, tobas andesíticas mineralizadas, tobas y andesitas; los contactos entre estas litologías están delimitados por fallas con dirección principal de NE-SW, otras de tipo secundarias E-W; y, NW-SE; en los afloramientos estas rocas se encuentran muy fracturadas formando familias de diaclasas que tienen como datos estructurales: 257/60, 113/89, 297/60, 330/62.
- Las alteraciones hidrotermales entre el skarn y las tobas son muy notorias, al Noroeste del polígono se observó una alteración hidrotermal de sericitización y al Sureste del área se observó una alteración hidrotermal de argilitización.
- La mineralización de interés económico está relacionada a pequeñas vetillas tipo stockwork o pequeñas concentraciones diseminadas en el skarn; los cuales presentan una asociación mineralógica de epidota-adularia-cuarzo-granates.
- La roca observada al microscopio en sección pulida (TIER-001) se determina como un skarn de textura granular, compuesta principalmente por pirita (Py), calcopirita (Cpy), esfalerita (Sf) y galena (Gn), soportado en una matriz calcárea y en menor grado presencia de malaquita y clorita. Se observa claramente zonaciones de cristales idiomorfos, las soluciones hidrotermales así como las inclusiones que existen en los espacios interminerales producto de las altas presiones de la solución. La muestra presenta un relieve diferencial debido a las distintas durezas de los minerales que la componen.
- Sección pulida TIER-002 presenta cristales idiomorfos, debido a que han cristalizado en soluciones que han enfriado lentamente, su textura es pórfido intersticial, inequigranular con fenocristales de pirita y calcopirita principalmente.
- Sección pulida TIER-003 los porcentajes obtenidos pirita (30-40%), calcopirita (25-30%), esfalerita (5-10%), Galena (1-2%) nos indica una asociación de sulfuros que se han formado durante la circulación de soluciones hidrotermales por las fracturas, los minerales opacos en muchos casos son cerradamente asociados con características retrogradadas y reflejan altos estados de oxidación y sulfuración y menores temperaturas que tempranos acompañamientos a la mineralización.

- Debido a la significativa circulación hidrotermal continua en bajas temperaturas, los depósitos en periodos tardíos son limitados a escaso relleno de drusas de cuarzo carbonatos-sulfuros, en otros, grandes porciones de los skarn, son convertidos a mezclas de cuarzo, calcedonia, arcillas carbonatos, sulfuros y óxidos de hierro. La existencia de skarn tempranos (en formación) puede ser solamente reconocida por la presencia de minerales relictos o minerales pseudomorfos

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios con un mayor número de secciones pulidas y láminas delgadas, para obtener resultados más concretos sobre la composición mineralógica y petrográfica del sector.
- Analizar la posibilidad de extracción de otros minerales de interés económico, a más del Au, sabiendo que la mineralización principal está asociada a minerales sulfurosos.
- Realizar una correlación tectónica del Distrito Minero de Nambija en función de la génesis de los yacimientos de skarn.

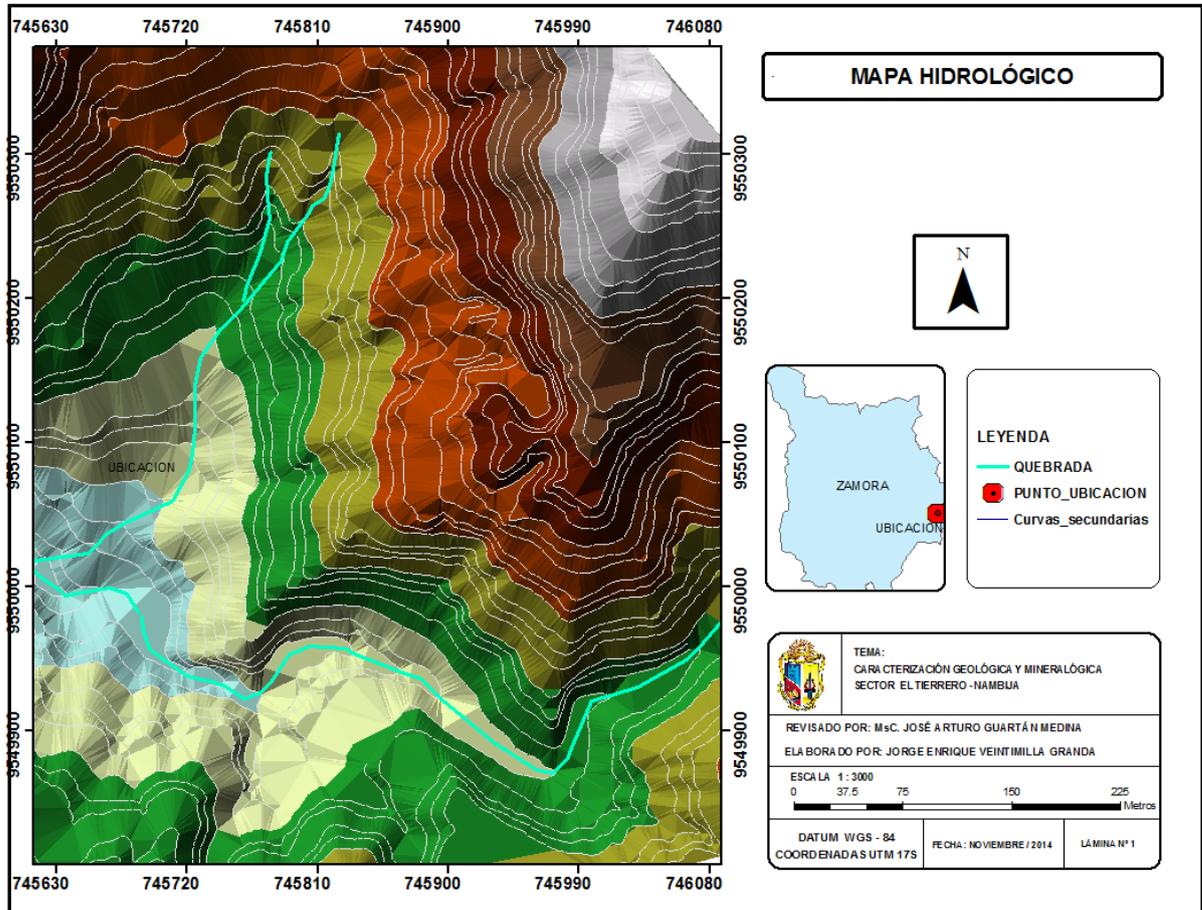
BIBLIOGRAFÍA

- Candela, P.A. (1994). *Combined chemical and physical model for plutonic devolatilization: A non-Rayleigh fractionation algorithm*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 2157-2167.
- Corona P., Canet C.M., Arce J.L. (2011) *Coloquio de Mineralogía*, Vol. 19(1).
- Corbett, G.J. y Leach, T.M. (1998). *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems Structure, Alteration, and Mineralization*. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6, p.237.
- CSIRO, (2014). *Exploration & Mining*. Disponible en: <http://www.dem.csiro.au/>
- Einaudi, M.T., Meinert, L.D. y Newberry, R.J. (1981). *Skarn Deposits*. *Economic Geology*, Vol. 75th, 317-391.
- Giggenbach, W.F. (1997). The Origin and Evolution of Fluids in Magmatic-Hydrothermal Systems. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Tercera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), John Wiley and Sons Inc. Publication, 737-796.
- Hemley, J.J. y Jones, W.R. (1964). *Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism*. *Economic Geology*, 64, 538-569.
- Hendry, D.A.F., Chivas, A.R., Long, J.V.P. , Reed, S.J.B. (1985). *Chemical differences between minerals from mineralizing and barren intrusions from some North*.
- Ixer R.A., Duller P.R. (2011). *Virtual Atlas of Opaque and Ore Minerals*. Disponible en: <http://www.smenet.org/opaque-ore>
- Luque F.J., Sierra J. (2010). *Prácticas de Minerales II (No silicatos)*
- Nash, J.T., (1976). *Fluid inclusión petrology – data from porphyry copper deposits and applications to exploration*. U.S.G.S. Professional Paper 907D, p.16.
- Potter, R.W., (1977). *Pressure correction for fluid inclusions homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl – H₂O*. U.S. Geological Survey Journ. Vol. 5, 603-607.
- Rodríguez, R. (2013). *Metalogenia y depósitos de oro*. Disponible en: www.unalmed.edu.co/rrodriguez/lecturas/hidrotermalismo.htm

- University of Geneva. (2014). *Introduction to ore microscopy*. Disponible en: [http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques menu.html](http://www.unige.ch/sciences/terre/mineral/fontbote/opaques/opaques%20menu.html)
- WebMineral. (2011). *Mineralogy Database*. Disponible en: <http://webmineral.brgm.fr:8003/mineraux/Main.html>

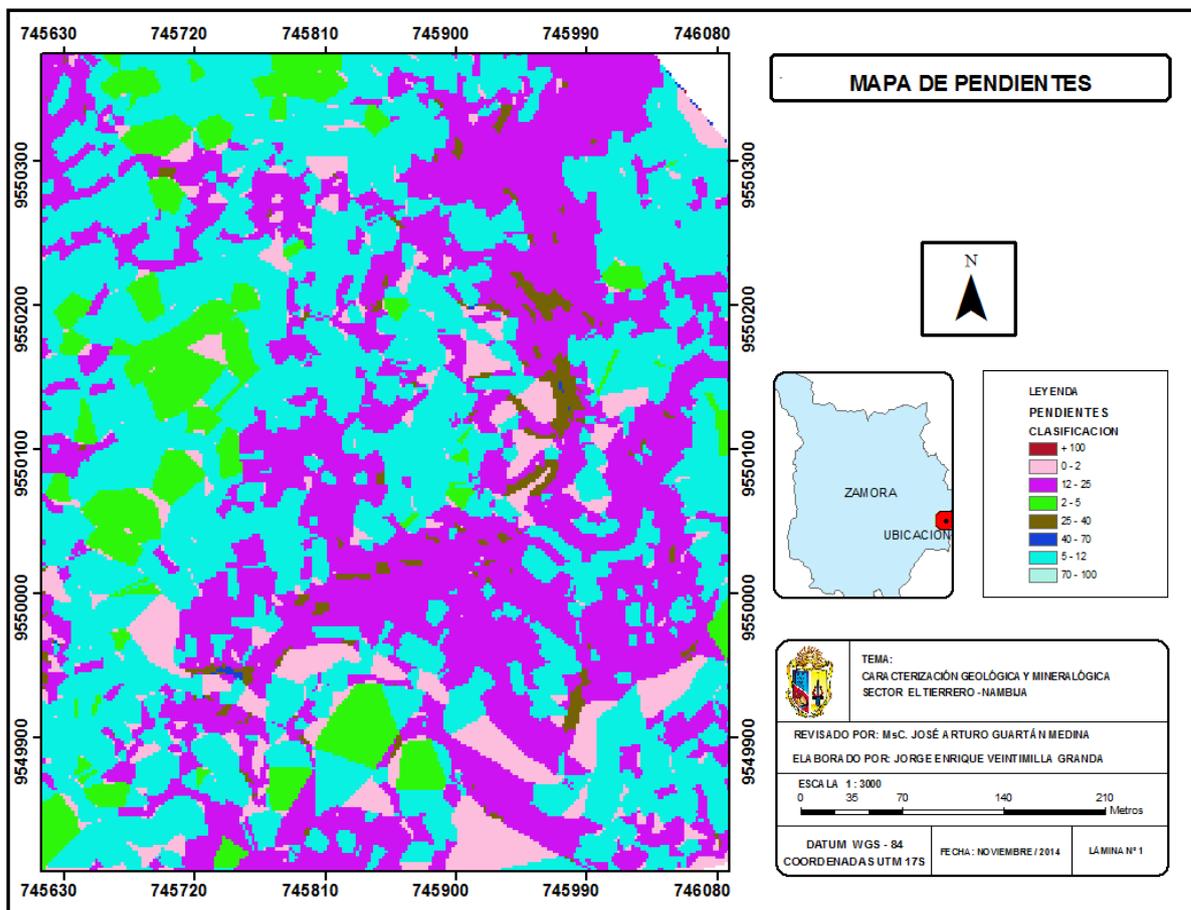
ANEXO 1
MAPAS DEL SECTOR EL TIERRERO - NAMBIJA

a) Mapa hidrográfico El Tierrero – Nambija



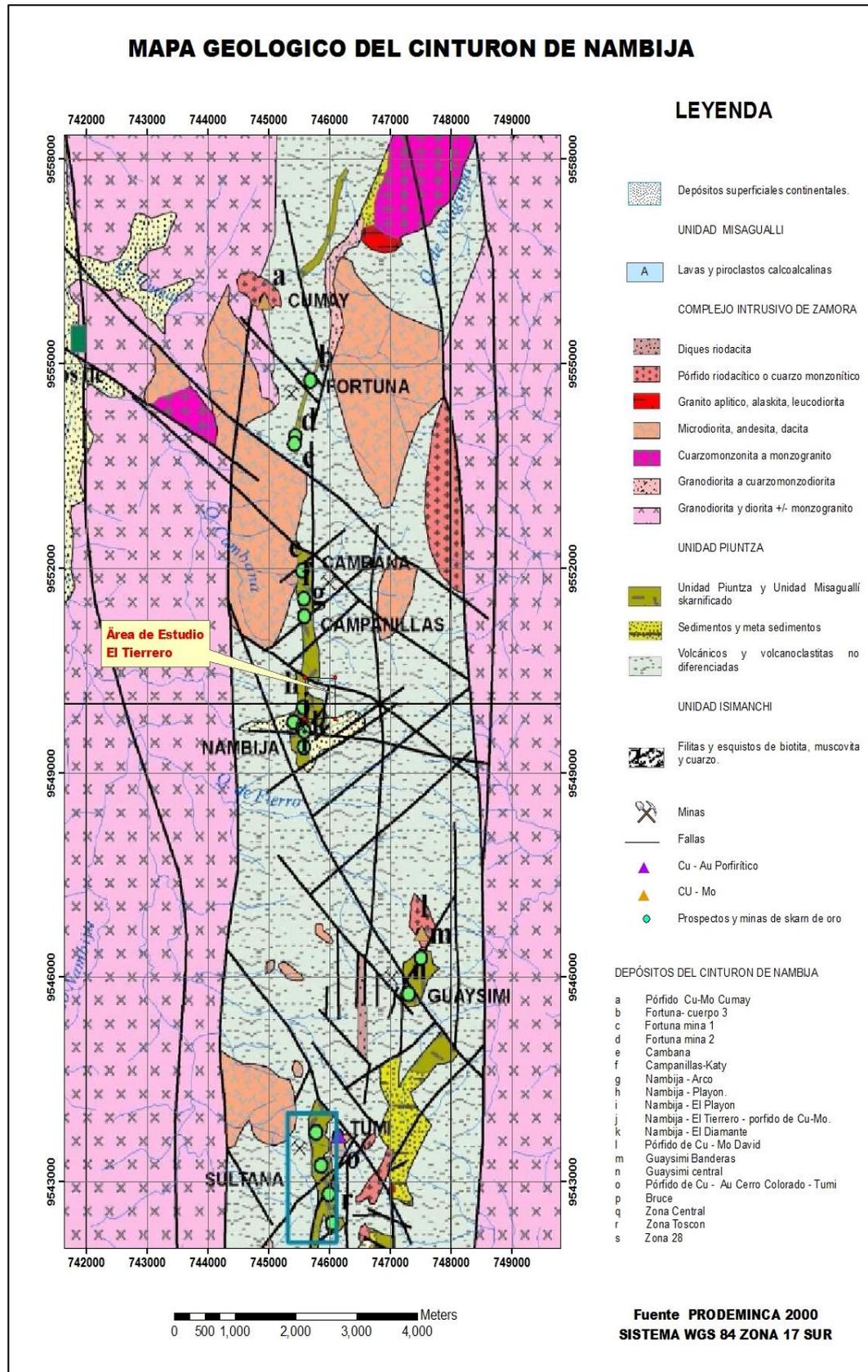
Mapa 1. Mapa hidrográfico del sector El Tierrero – Nambija
Fuente: Compañía Minera Andos S.A.

b) Mapa de pendientes polígono en El Tierrero – Nambija



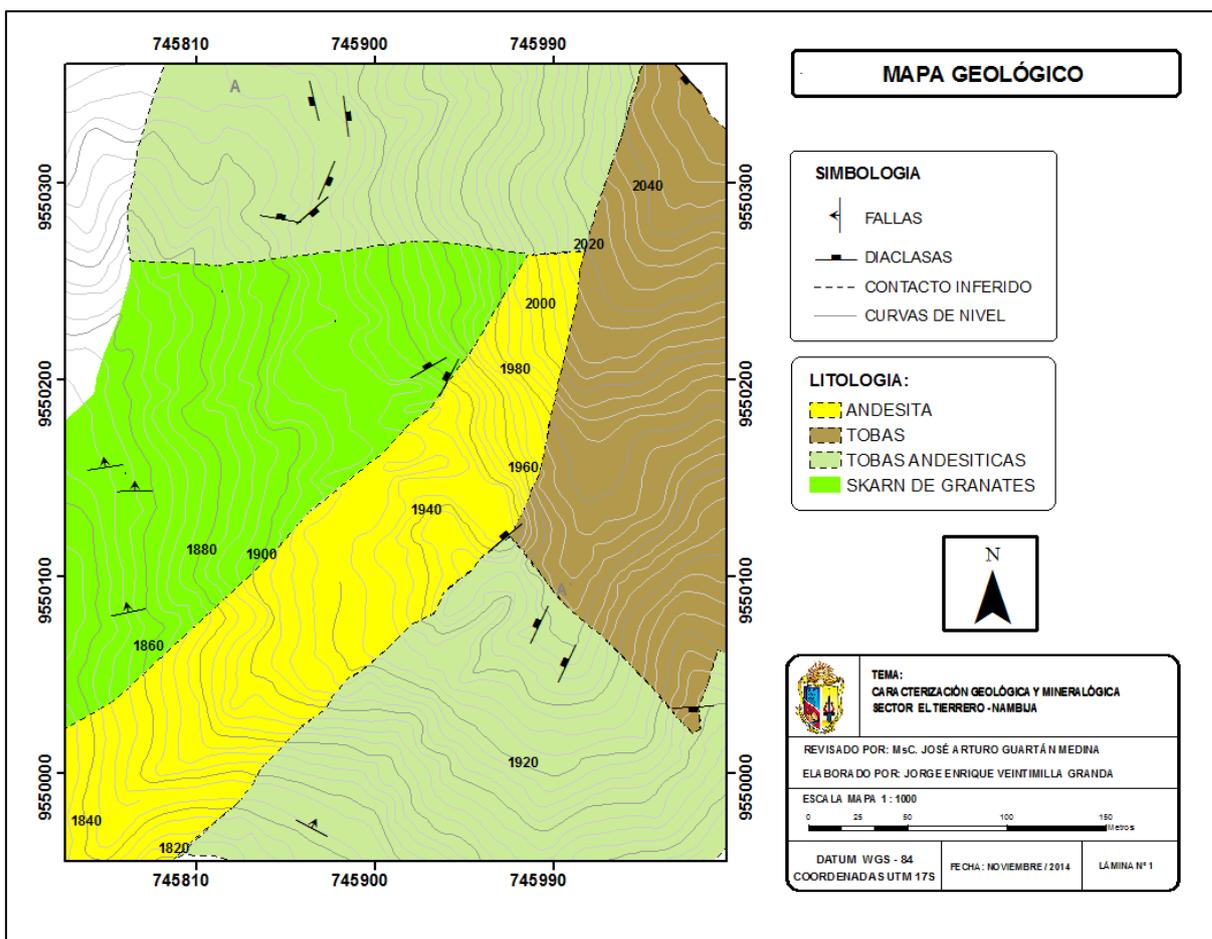
Mapa 2. Mapa de pendientes de polígono del sector El Tierrero – Nambija
Fuente: Compañía minera Andos S.A.

c) Mapa geológico del Cinturón de Nambija



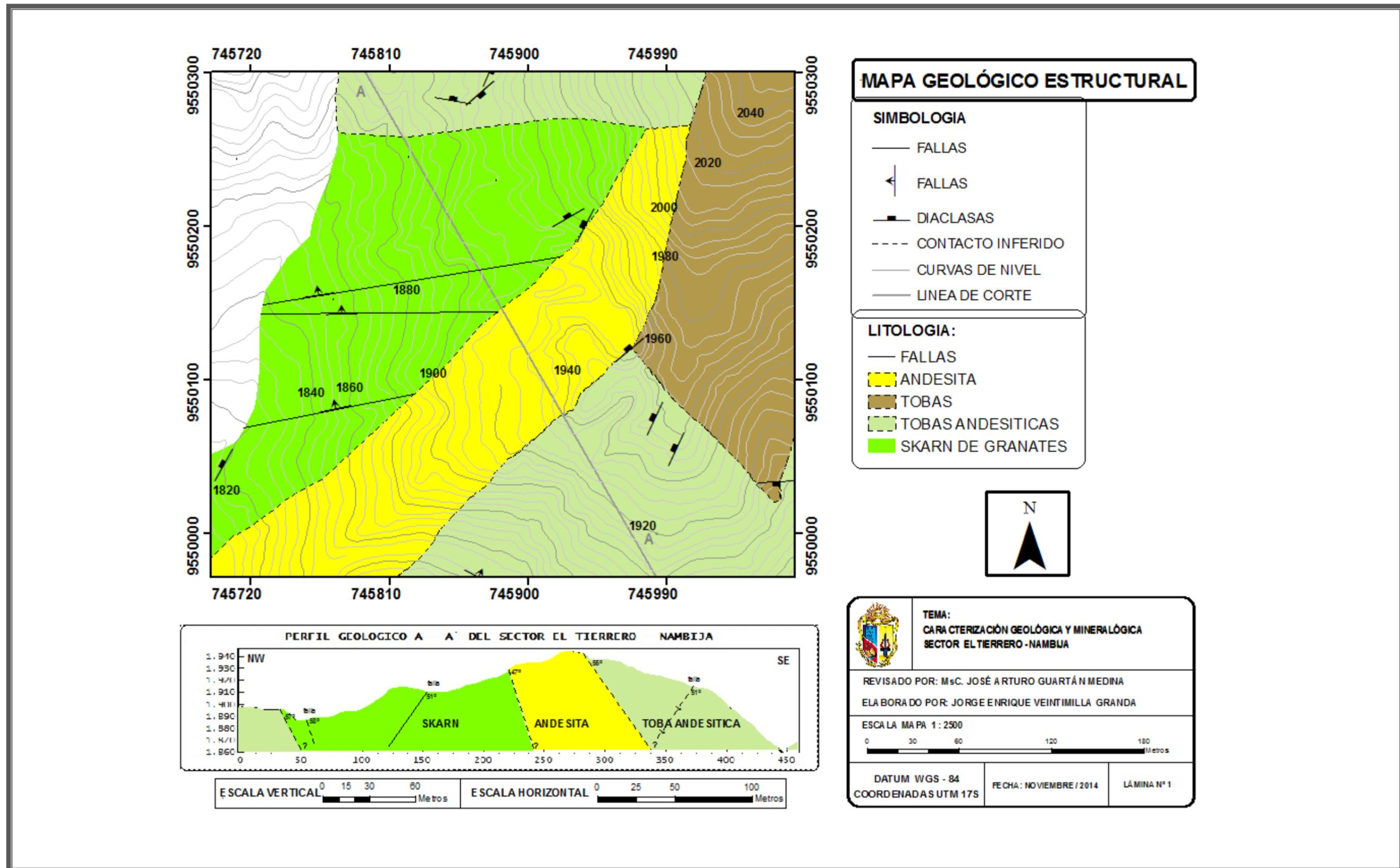
Mapa 3. Mapa geológico del cinturón de Nambija
Fuente: Prodeminta (2000)

d) Mapa geológico de El Tierrero



Mapa 4. Mapa geológico del sector El Tierrero – Nambija
Fuente: El autor

e) Mapa Geológico Estructural El Tierrero – Nambija



Mapa 5. Mapa geológico y perfil geológico A - A' del sector El Tierrero – Nambija
Fuente: El autor

ANEXO 2
FICHAS PARA LA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 1

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745716	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9549962	LITOLÓGÍA: Skarn de epidota
	Z: 1815	DATOS ESTRUCTURALES: Contacto
DIMENSIÓN (largo x alto): 25 m x 10 m	ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Medianamente meteorizado	

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Unidad Piuntza

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a skarn de epidota con meteorización media, además presenta textura masiva con mineralización en vetillas (Pirita, Calcopirita, Oro y Plagioclasas); Tenacidad fuerte.

FOTO



OBSERVACIONES: Talud antrópico de vía / Presenta vegetación en sus costados / Exposición a la humedad / Se recogió muestra para la elaboración de sección pulida.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

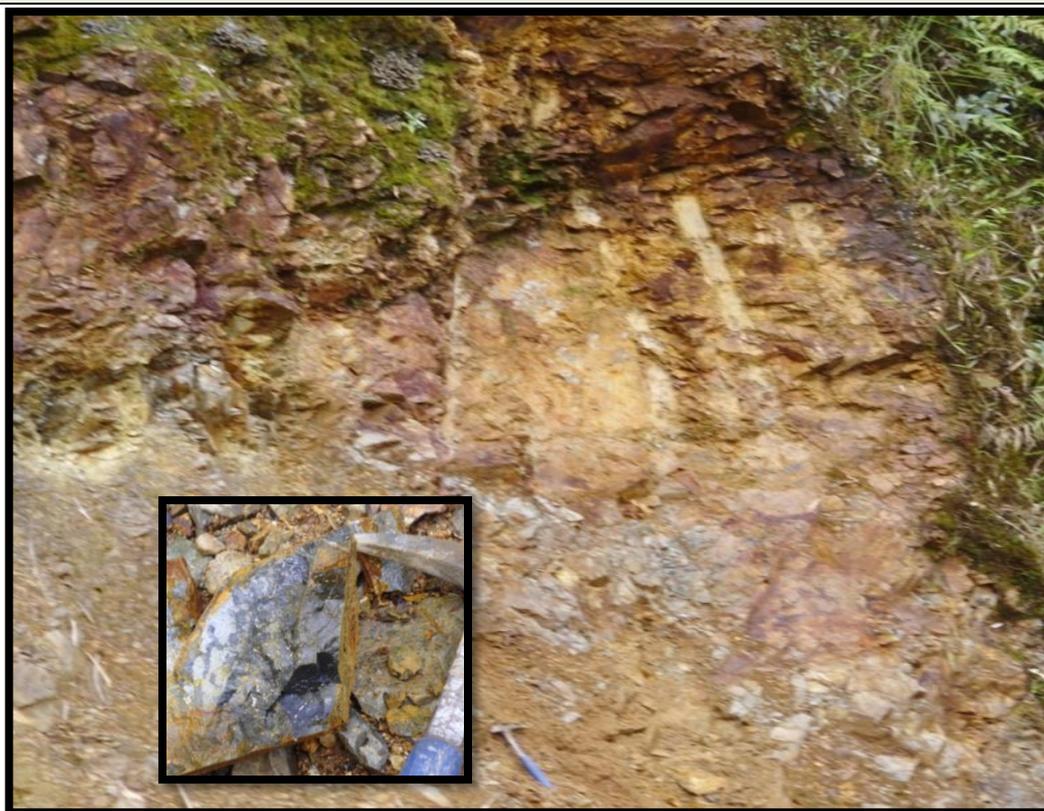
AFLORAMIENTO # 2

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745919	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9549928	LITOLOGÍA: Andesita
	Z: 1855	DATOS ESTRUCTURALES: 255/70
DIMENSIÓN (largo x alto): 10 m x 4 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a andesitas con meteorización alta, además presenta vetas de sulfuros y cuarzo; altamente fracturada con rellenos de falla; presencia de milonita, sericita y caolín; presenta 4 familias de diaclasas. 1) 355/75 2) 270/65 3) 200/77 4) 226/33

FOTO



OBSERVACIONES: Talud antrópico de vía / Presenta vegetación en sus costados.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 3

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 746115	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9550104	LITOLOGÍA: Tobas de cristales
	Z: 1950	DATOS ESTRUCTURALES: 207/58
DIMENSIÓN (largo x alto): 10 m x 3 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a tobas de cristales con meteorización alta, presencia de fallas dextrales; altamente fracturada.

FOTO



OBSERVACIONES: Talud antrópico de vía / Presenta vegetación en sus costados.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 4

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745994	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9550068	LITOLOGÍA: Tobas de cristales y lapilli
	Z: 1950	DATOS ESTRUCTURALES: Ninguno
DIMENSIÓN (largo x alto): 10 m x 3 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a tobas de cristales y lapilli con meteorización alta, presencia de cristales volcánicos, obsidiana; Presenta 4 familias de diaclasas. 1) 200/73 2) 11/20 3) 120/75 4) 330/73

FOTO



OBSERVACIONES: Talud antrópico de vía / Presenta vegetación en sus costados / Se recoge muestra para el análisis en laboratorio.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 5

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745967	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9550124	LITOLOGÍA: Skarn de granates
	Z: 1950	DATOS ESTRUCTURALES: No es posible
DIMENSIÓN (largo x alto): 40 m x 30 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Levemente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a skarn de granates con meteorización leve, presenta una pendiente bastante inclinada por lo que no fue posible la toma de datos estructurales.

FOTO



OBSERVACIONES: Talud antrópico / Presenta vegetación en sus costados / No se pudo tomar datos estructurales / Zona peligrosa / Se recoge muestra para el análisis en laboratorio.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 6

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745946	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9550144	LITOLOGÍA: Skarn de granates ? / Tobas
	Z: 1946	DATOS ESTRUCTURALES: Contacto
DIMENSIÓN (largo x alto): 15 m x 5 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a skarn de granates y tobas en una zona de contacto con meteorización alta, el skarn descansa discordantemente sobre la toba en una zona de vuelco estratigráfico.

FOTO



OBSERVACIONES: Talud antrópico / Presenta vegetación en sus costados / Zona de contacto con vuelco estratigráfico.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 7

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745925	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9550182	LITOLÓGÍA: Skarn de granate-epidota
	Z: 1942	DATOS ESTRUCTURALES: Ninguno
DIMENSIÓN (largo x alto): 10 m x 20 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a skarn de granate-epidota con meteorización alta, ubicado en una zona de derrumbes.

FOTO



OBSERVACIONES: Talud antrópico / Actividades mineras / Zona de peligro de derrumbes / Se recoge muestras para sección pulida.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 8

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745935	TIPO DE AFLORAMIENTO: Natural
	Y: 9550202	LITOLOGÍA: Skarn de granate-epidota
	Z: 1945	DATOS ESTRUCTURALES: 295/65
DIMENSIÓN (largo x alto): 40 m x 30 m	ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Medianamente meteorizado	

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento natural, presenta litología correspondiente a skarn de granate-epidota con meteorización media, ubicado en una zona de deslizamientos, presencia de zonas minadas, se encuentran abundantes granates.

FOTO



OBSERVACIONES: Afloramiento natural / Actividades mineras / Zona de peligro de derrumbes / Cerca a la sociedad minera Génesis I.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 9

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745888	TIPO DE AFLORAMIENTO: Antrópico
	Y: 9550373	LITOLOGÍA: Skarn de granate-calcita / Tobas
	Z: 1980	DATOS ESTRUCTURALES: 378/58
DIMENSIÓN (largo x alto): 15 m x 3 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento antrópico, presenta litología correspondiente a skarn de granate-calcita en contacto con tobas con meteorización alta, zona fracturada presenta sulfuros. Presenta 4 familias de diaclasas. 1) 13/60 2) 275/74 3) 40/90 4) 165/66

FOTO



OBSERVACIONES: Afloramiento antrópico / Actividades mineras / Ubicado cerca a bocamina.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 10

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745864	TIPO DE AFLORAMIENTO: Natural
	Y: 9550314	LITOLOGÍA: Limos-Arcillas
	Z: 1932	DATOS ESTRUCTURALES: Ninguno
DIMENSIÓN (largo x alto): 10 m x 15 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Depósitos Cuaternarios

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento natural, presenta litología correspondiente depósitos cuaternarios de composición variada entre limos y arcillas con meteorización alta.

FOTO



OBSERVACIONES: Afloramiento natural / Actividades mineras / Vegetación abundante a sus contactos

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 11

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745787	TIPO DE AFLORAMIENTO: Natural
	Y: 9550346	LITOLOGÍA: Limos-Arcillas
	Z: 1915	DATOS ESTRUCTURALES: Ninguno
DIMENSIÓN (largo x alto): 10 m x 15 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Altamente meteorizado

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Depósitos Cuaternarios

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento natural, presenta litología correspondiente depósitos cuaternarios de composición variada entre limos y arcillas con meteorización alta.

FOTO



OBSERVACIONES: Afloramiento natural / Actividades mineras / Vegetación abundante a sus contactos / Presencia de lodos de relaveras.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 12

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745383	TIPO DE AFLORAMIENTO: NATURAL
	Y: 95549650	LITOLÓGÍA: SKARN
	Z: 1820	DATOS ESTRUCTURALES: 195/34 – 175/63

DIMENSIÓN (largo x alto): 2 m x 2 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** BAJO

FORMACIÓN GEOLÓGICA: FORMACION PIUNTZA

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Ubicado en la unión de las quebradas el Hierro y el Fierro, el skarn aflora con estratificación de diaclasas paralelas entre sí, rellenas de óxido de coloración anaranjada, presenta vetillas de color verde claro (malaquita) reacciona con el ácido clorhídrico al 10% variación en color por contenido de mineral diseminado a lo largo del afloramiento, macroscópicamente observamos pirita, granate, cuarzo, calcita y malaquita.

FOTO



OBSERVACIONES: Flanco derecho del cauce de la quebrada

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 13

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745487	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial
	Y: 9549556	LITOLÓGÍA: Andesitas.
	Z: 1806	DATOS ESTRUCTURALES: 164/90

DIMENSIÓN (largo x alto): 6 m x 12 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Alto

FORMACIÓN GEOLÓGICA: volcanoclastos

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Afloramiento artificial entre la quebrada el hierro y la vía al tierrero, andesitas con lapilli de coloración negra y material rojo anaranjado altamente meteorizado con fracturas paralelas a 90 grados rellenas de limonitas y oxido, no reacciona al ácido clorhídrico, se ve también cuarzo meteorizado se encuentra sobrepuesto al skarn mineralizado, dentro de la matriz observamos pirita diseminada en poco contenido.

FOTO



OBSERVACIONES: Corte de vía

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO, DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR

AFLORAMIENTO # 14

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745656	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial–Corte de vía
	Y: 9549560	LITOLÓGÍA: Andesita falla - Nambija
	Z: 1845	DATOS ESTRUCTURALES:

DIMENSIÓN (largo x alto): 3m x 30 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Muy Alterado
FORMACIÓN GEOLÓGICA: Volcánicos Piuntza

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Ubicado al pie de la vía en un talud artificial entre la quebrada el hierro y la vía. Andesita presenta vetillas de cuarzo, muy fracturado, escasa diseminación de pirita y vetillas de cuarzo, abundante oxidación de minerales de hierro con colores rojo anaranjado y color rojo oscuro, las fracturas están rellenas con mineral limonítico, en esta zona existe la presencia de falla, no reacciona al ácido clorhídrico

FOTO



OBSERVACIONES: Afloramiento en cortes.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 15

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745644:	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial Corte de vía
	Y: 9549544	LITOLÓGÍA: Tobas
	Z: 1870	DATOS ESTRUCTURALES: Vetilla 84/90 185/73

DIMENSIÓN (largo x alto): 6m x 10m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Muy Alterado

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Volcánicos

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Ubicado al pie de la vía en un talud artificial entre la quebrada el hierro y la vía. Contacto entre la toba y la andesita, la toba presenta una finas vetillas de mineralización de pirita que cortan todas las otras fracturas secundarias, las fracturas están rellenas de óxidos, la vetilla presenta espesor de 1 cm, aquí observamos intercalaciones de tobas y andesitas en forma de diques con espesores de 3.40 m a 6 m predominio de dirección Este Oeste entre los diques intercalados.

FOTO



OBSERVACIONES: Muy alterados zona de contacto.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

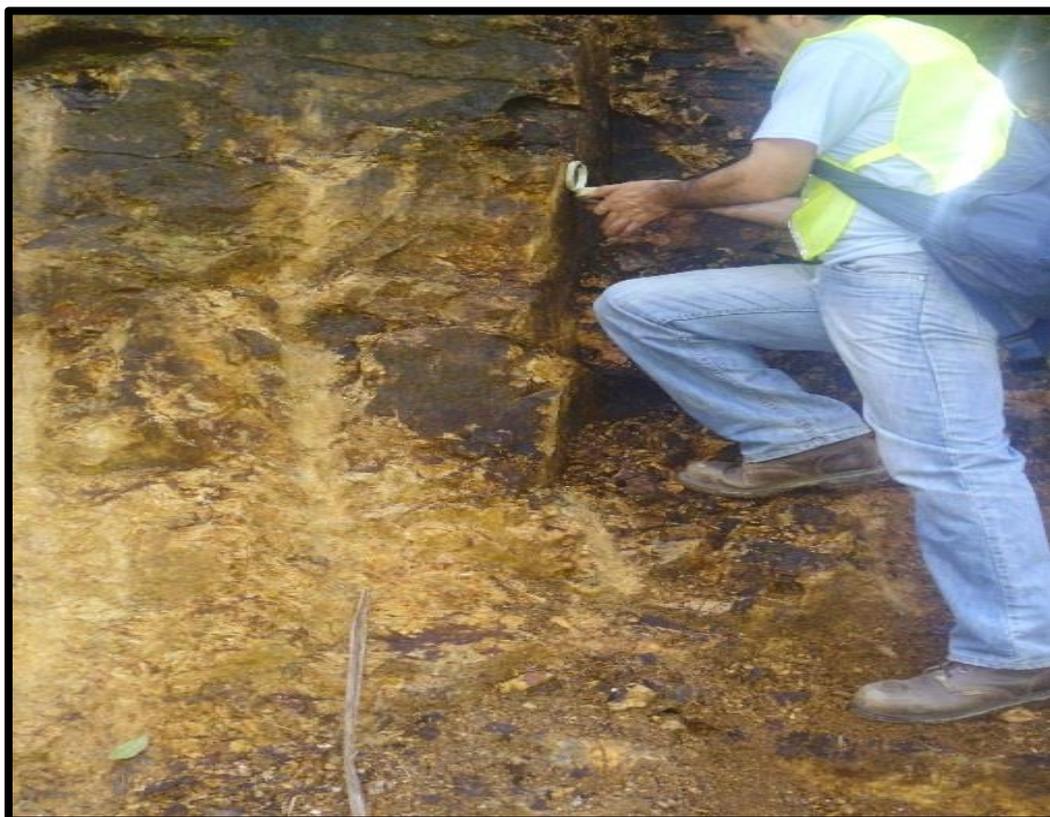
AFLORAMIENTO # 16

COORDENADAS UTM WGS 84	X: :745722	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial Corte de vía
	Y: 9549516	LITOLOGÍA: Andesitas.
	Z: 1850	DATOS ESTRUCTURALES: 93/90 170/88 300/35 255/90
DIMENSIÓN (largo x alto): 6m x 10m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Muy Alterado

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Volcánicos

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Ubicado al pie de la vía en un talud artificial entre la quebrada el hierro y la vía. Presenta Diaclasas en tres direcciones de acuerdo a los datos estructurales se observa igualmente una coloración rojiza y coloración oscura por oxidación de minerales de hierro, presentan finas vetillas de cuarzo con dirección preferente Este Oeste y espesores 2 a 3 cm, son muy escasas

FOTO



OBSERVACIONES:

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 17

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745854:	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial
	Y: 9549740	LITOLOGÍA: Andesitas
	Z: 1923	DATOS ESTRUCTURALES: 210/62 fr202/67 207/78

DIMENSIÓN (largo x alto): 4m x 6 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Alterado

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Volcanicos Piuntza

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Ubicado al pie de la vía en un talud artificial presenta fracturas predominantes en dirección Este Oeste entre estas fracturas observamos otro sistema de fracturamiento paralelas y perpendiculares que cortan estas estructuras predominantes, presenta oxidaciones de color oscuro y negro propio de la oxidación de hierro y aparentemente presencia de magnetita y escasa plagioclasas. Andesitas estériles de sulfuros

FOTO



OBSERVACIONES: Afloramiento en cortes.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 18

COORDENADAS UTM WGS 84	X: :745981	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial – trinchera
	Y: 9550084	LITOLOGÍA: Andesitas - Nambija
	Z: 1953	DATOS ESTRUCTURALES:

DIMENSIÓN (largo x alto): 3m x 30 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Alterado

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Volcanicos Piuntza

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Se ubica en la parte alta del polígono, rocas metavolcanicas compuestas principalmente por andesitas, y andesitas meteorizadas dispuestas en forma de diques, se puede evidenciar claramente las fuerzas de compresión y tracción que ha sufrido la roca durante la etapa de fallamiento. Sus fracturas están rellenas de óxidos de hierro y en algunos casos están rellena de patina de hasta 4 mm, presentan en forma de capas, altamente diaclasado.

FOTO



OBSERVACIONES: Afloramiento en cortes.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 19

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745720	TIPO DE AFLORAMIENTO:
	Y: 9549706	LITOLOGÍA: Tobas
	Z: 1942	DATOS ESTRUCTURALES: 175/68 D130/87
DIMENSIÓN (largo x alto): 6m x 6 m		ESTADO DEL AFLORAMIENTO: Poco alterado

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Se observa principalmente un cambio en el sistema de diaclasas de rumbo N- S la potencia del relleno es mayor a 2 cm de óxidos de hierro las fracturas secundarias no presentan rellenos y se encuentran las cuatro familias de diaclasas, no reaccionan al contacto con el ácido clorhídrico.

FOTO



OBSERVACIONES:

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 20

COORDENADAS UTM WGS 84	X: 745692	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial
	Y: 9549816	LITOLOGÍA: Andesitas
	Z: 1951m	DATOS ESTRUCTURALES: 230/75

DIMENSIÓN (largo x alto): 20m x 6 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:**

FORMACIÓN GEOLÓGICA:

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Andesita presenta más mineralización malaquita, ortoclasa, vetillas de oxidación, pirita, cuarzo, presenta un cierto grado de reacción con el ácido, se observa un dique de skarn con minerales de granate, clorita y sulfuros, epidota y por el contenido de carbonato.

FOTO



OBSERVACIONES: Explotaciones antiguas

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 21

COORDENADAS UTM WGS 84	X:74589	TIPO DE AFLORAMIENTO: Natural–deslizamiento
	Y: 9549815	LITOLOGÍA: Suelo Residual - Nambija
	Z: 1948	DATOS ESTRUCTURALES:

DIMENSIÓN (largo x alto): 2 m x 2 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Decantación

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Suelo Residual

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Se ubica en las pendientes altas del polígono con predominio de suelos de coloraciones rojizas y colores propios de la lixiviación de minerales ferromagnesianos perteneciente a polisulfuros. No se puede tomar datos estructurales debido a la alta meteorización de la roca. Se encuentra bajo la capa vegetal del terreno

FOTO



OBSERVACIONES: suelo alterado

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO # 22

COORDENADAS UTM WGS 84	X:	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial
	Y:	LITOLOGÍA:
	Z:	DATOS ESTRUCTURALES:

DIMENSIÓN (largo x alto): 2 m x 2 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Decantación

FORMACIÓN GEOLÓGICA: volcanoclastos

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Se ubica en las estribaciones de la pendiente de ladera del polígono cuyos vertidos salen de la mina en proceso de laboreo, no se ha podido ingresar a esta labor, pero en si son sólidos suspendidos de sales de cobre procedentes de mina que es transportado a través del agua subterránea de mina

FOTO



OBSERVACIONES: sedimentación en poza

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y MINERALÓGICA DEL SECTOR EL TIERRERO,
DISTRITO MINERO NAMBIJA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE-ECUADOR**

AFLORAMIENTO #23

COORDENADAS UTM WGS 84	X:	TIPO DE AFLORAMIENTO: Artificial
	Y:	LITOLÓGÍA: Diseminado de pirita
	Z:	DATOS ESTRUCTURALES:

DIMENSIÓN (largo x alto): 2 m x 2 m **ESTADO DEL AFLORAMIENTO:** Muy alterado

FORMACIÓN GEOLÓGICA: volcanoclastos

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA: Diseminado de pirita sobre andesita y finas vetillas de pirita que rellenan fracturas

FOTO



OBSERVACIONES: Cerca de una falla entre la quebrada del hierro y la vía a El Tierrero

ANEXO 3
RESULTADOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS EN EL LABORATORIO
DE GEOLOGÍA Y MINAS DE LA UTPL

a) Resultado de análisis en el microscopio

M1 Toba Andesíticas		Porcentajes	
	Pirita	29%	
	Cuarzo	30%	
	Epidota	20%	
	Malaquita	8%	
	Cinabrio	3%	
	Bornita	1%	
	Calcopirita	1%	
	Granates	7%	

M3 Skarn		Porcentajes	
	Granates	15%	
	Calcita	2%	
	Pirrotina	1%	
	Malaquita	5%	
	Pirita	25%	
	Calcopirita	3%	
	Plagioclasas	20%	
	Cuarzo	27%	

M2 Andesita	Propiedades	
		Pirrotina
	Cinabrio	1%
	Epidota	3%
	Grosularia	25%
	Malaquita	3%
	Adularia	7%
	Cuarzo	34%
	Granates	23%

M4 Toba	Propiedades	
		Magnetita
	Hematita	9%
	Granates	30%
	Olivino	9%
	Pirrotina	5%
	Cuarzo	30%
	Goethita	7%
	Pirita	4%

b) Interpretación de secciones pulidas – luz reflejada

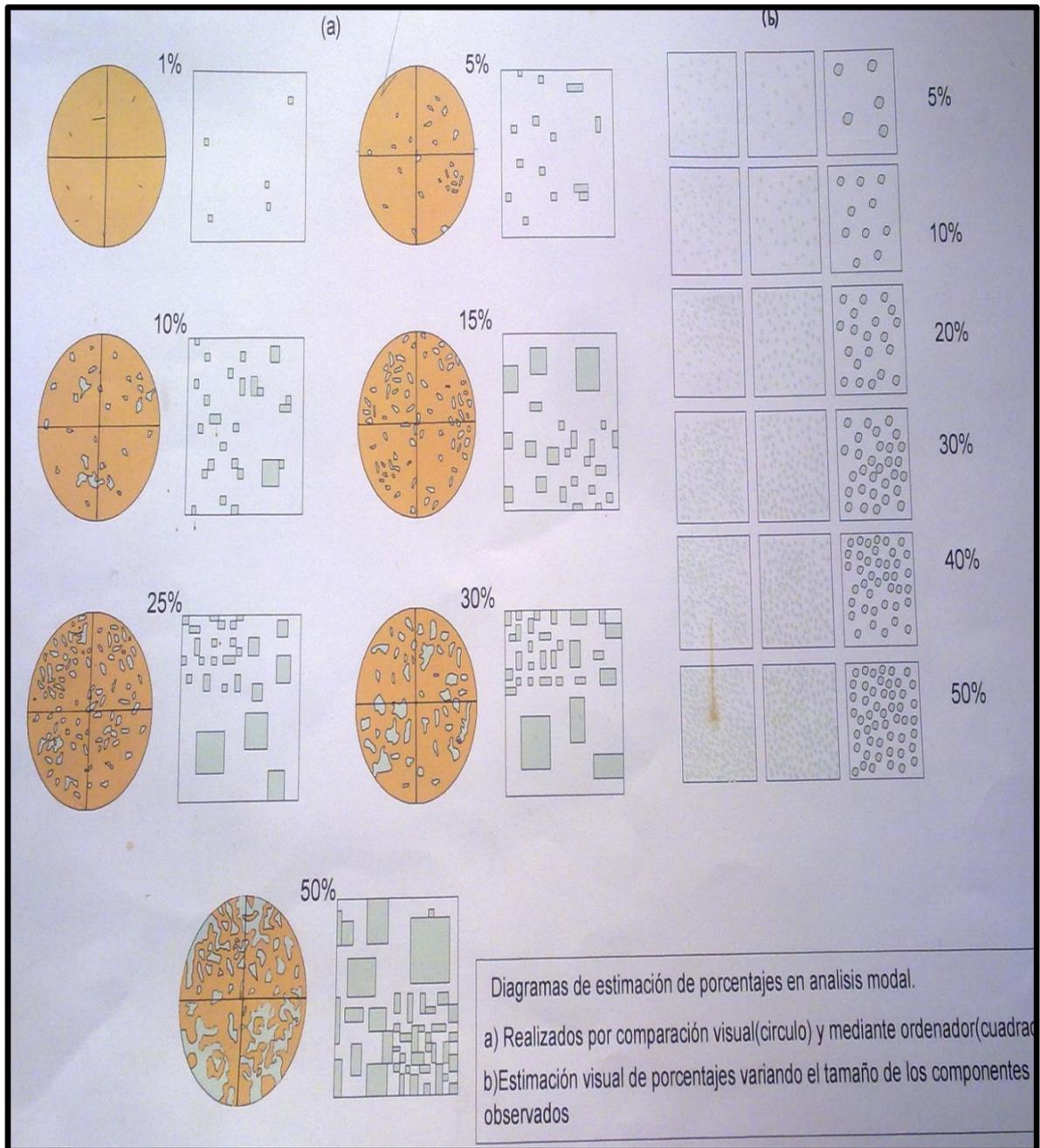


Figura 30. Interpretación de las secciones pulidas
Fuente: Laboratorio de Geología y Minas UTPL, (2013)

c) Imágenes de las muestras analizadas en el laboratorio de minas de la UTPL

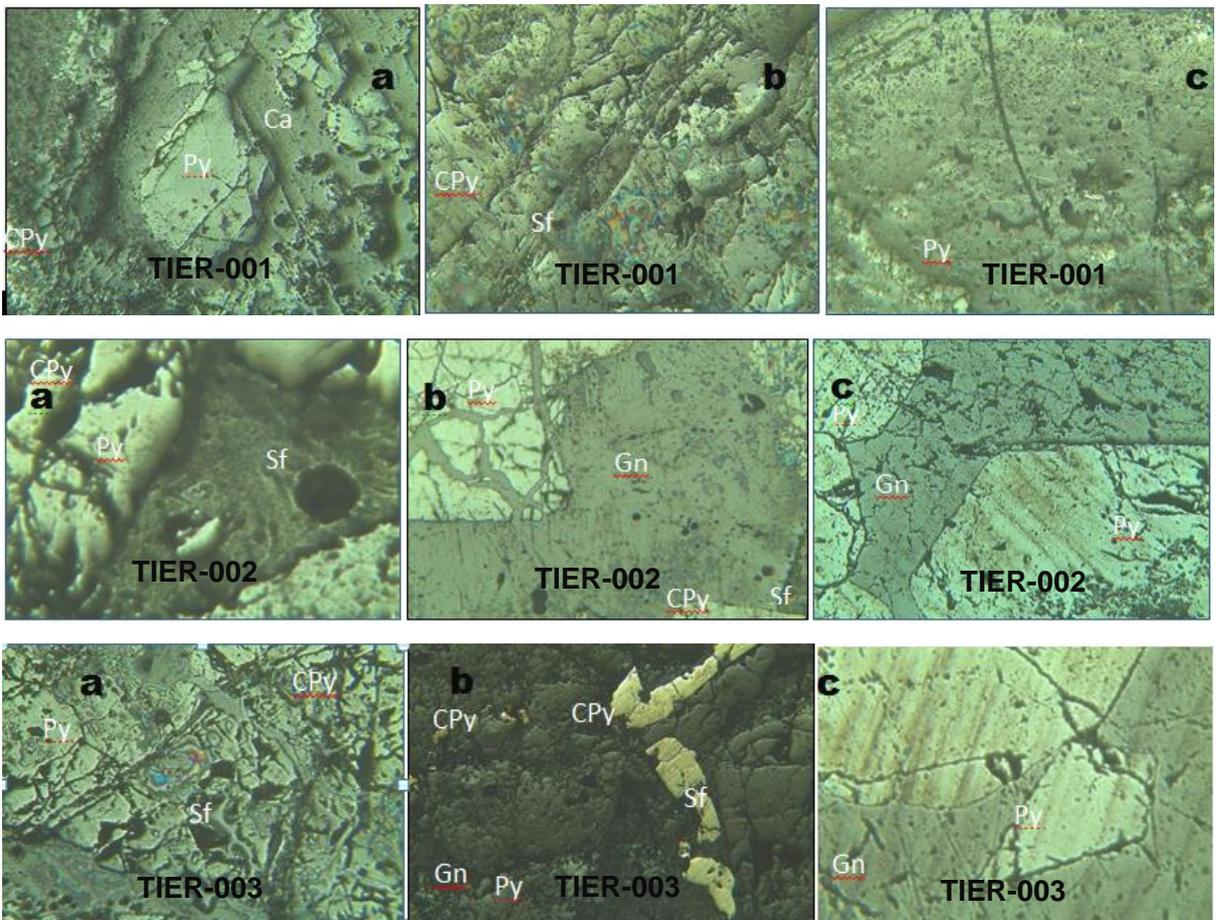
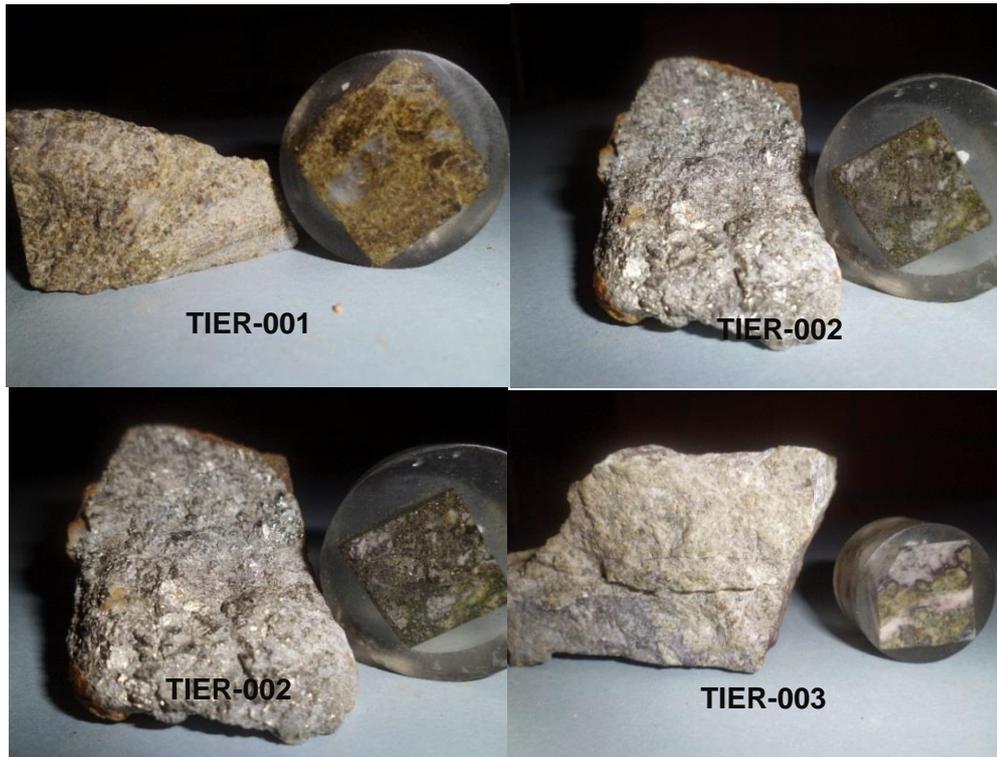


Figura 31. Muestras analizadas en el microscopio del Laboratorio de Geología y Minas de la UTPL
Fuente: El Autor