

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS.**

**ESTUDIO GEOLÓGICO Y EVALUACIÓN DE FELDESPATOS Y
CAOLÍNES EN EL ÁREA MINERA “LA ERCILIA”, PROV. BOLÍVAR.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO.**

RAÚL MAURICIO VILLACÍS SALAZAR.

DIRECTORA: ING. HALINA LACHOWICZ.

QUITO, MARZO 2008.

PRESENTACIÓN.

La empresa EDESA S.A. vio la necesidad de cuantificar las reservas de caolín y feldespato, existentes en las 17has del área minera “La Ercilia”, que queda ubicada en la ciudad de Echeandía, provincia de Bolívar, debido a que no existe ningún tipo de trabajo en este lugar que explique la génesis del depósito, determine la calidad del material, ni que evalúe las reservas de materia prima existente en esta mina.

El estudio detallado del feldespato y caolín existente en este lugar es necesario, ya que son materias primas que sirven para la producción de la cerámica sanitaria elaborada por EDESA S.A.

El yacimiento “La Ercilia” esta formado por rocas albitizadas, producto de la alteración hidrotermal de cuerpos subvolcánicos. El caolín encontrado en este yacimiento es producto de la alteración de las rocas albitizadas, debido al intemperismo reinante en la zona. Por lo anteriormente descrito, los cuerpos de feldespato y caolín encontrados en esta mina, son bastante heterogéneos.

El presente trabajo se encamina a establecer la génesis del yacimiento, determinar la calidad del material y evaluar las reservas de caolín y feldespato, existentes en esta área minera. Estos resultados permitirán planificar de una mejor forma, la explotación de la mina.

ÍNDICE GENERAL

Capítulos	Pág.
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Justificación.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Alcances y Limitaciones.....	4
1.4.1 Alcances.....	4
1.4.2 Limitaciones.....	4
1.5 Metodología.....	4
Capítulo II Descripción de la zona de estudio.....	7
2.1 Ubicación y Vías de Acceso.....	7
2.1.1 Ubicación.....	7
2.1.2 Vías de acceso.....	7
2.2 Topografía e Hidrografía.....	9
2.2.1 Topografía.....	9
2.2.2 Hidrografía.....	9
2.3 Clima.....	11
2.4 Flora y Fauna.....	12
2.4.1 Flora.....	13
2.4.2 Fauna.....	14
2.5 Población.....	15
Capítulo III Geología Regional.....	17
3.1 Generalidades.....	17
3.2 Estratigrafía.....	19
Formación Macuchi.....	19
El Grupo Angamarca.....	21
Formación Apagua.....	22
Unidad Unacota.....	22
Unidad Arrayanes.....	23
El Grupo Saraguro.....	23
El Grupo Zumbagua.....	24
Volcánicos Plio – Pleistocénicos Indiferenciados.....	24
Depósitos Volcánicos Lourdes.....	24
Volcánicos Cuaternarios.....	25
Depósitos Volcánicos Guaranda.....	25
Volcánicos Cuaternarios Indiferenciados.....	25
Depósitos Cuaternarios.....	26
3.3 Magmatismo.....	26
Chazo Juan – Telimbela.....	26
Echeandía.....	27
El Corazón.....	27
3.4 Estructuras.....	28
3.4.1 Tectónica.....	28
Lineamiento Chimbo – Toachi.....	28
Plegamientos.....	28

3.4.2 Neotectónica.....	29
Falla de Quimsaloma.....	29
Falla Río Salinas.....	29
3.5 Evolución.....	29
Capítulo IV Geología Local.....	31
4.1 Generalidades.....	31
4.2 Geomorfología.....	31
Unidad Magmática.....	31
Unidad Sedimentaria.....	33
4.3 Litoestratigrafía.....	33
4.3.1 Estratigrafía.....	33
Formación Macuchi.....	33
Lavas andesíticas.....	34
Lavas basálticas.....	34
Brechas de falla.....	34
Brechas hidrotermales.....	36
Arcillas Lateríticas.....	36
Depósitos Coluviales y Aluviales.....	37
4.3.2 Cuerpos Intrusivos y Subvolcánicos.....	37
Batolito de Echeandía.....	38
La Microcuarzodiorita.....	38
Subvolcánicos San Francisco (D1 – D2).....	38
Dique Propilitizado.....	39
Dacita D1.....	39
Dacita D2.....	40
4.3.3 Volcanismo.....	41
Tobas Andesíticas(Ta).....	41
Diques de Obsidiana.....	41
4.3.4 Zonas Alteradas.....	42
Cuerpo Albitizado (Ab).....	43
Cuerpo Argilizado (Arg).....	44
Zona Silicificada (ZS).....	45
4.4 Estructuras.....	45
Lineamiento E – W.....	45
Falla Estero El Guatuzo.....	46
4.5 Evolución Geodinámica de la Zona de Estudio.....	48
Capítulo V Geología del Yacimiento.....	50
5.1 Generalidades.....	50
5.2 Labores de Exploración del Yacimiento.....	52
5.2.1 Exploración Geofísica mediante Sondeos Eléctricos Verticales.....	52
5.2.2 Perforaciones Manuales, con la herramienta Auger.....	52
5.2.3 Perforaciones a roto – percusión, con diamantina.....	53
5.2.4 Canaletas.....	53
5.3 Configuración del Yacimiento.....	54
5.3.1 Cuerpos Intrusivos y Subvolcánicos.....	54
Dacita D1.....	54
5.3.2 Zonas Alteradas.....	55
Cuerpo albitizado (Ab).....	55
Cuerpo albitizado rico en óxidos (Abo).....	59

Cuerpo propilitizado.....	60
Cuerpo argilizado.....	60
Estadio inicial de la formación de las arcillas ó Estadio E1.....	61
Estadio medio de la formación de las arcillas ó Estadio 2.....	63
Gravas arcillosas dacíticas (Gd).....	63
Gravas arcillosas albitizadas (Gda).....	64
Estadio final de la formación de las arcillas ó estadio E3.....	64
Cuerpo caolinizado (K).....	65
Arcillas ferruginosas (Ko).....	66
Diques de obsidiana montmorillonitizados (M).....	66
Zona Silicificada (ZS).....	67
5.3.3 Volcanismo.....	68
Obsidianas.....	68
5.3.3 Estratigrafía.....	69
Arcillas Lateríticas.....	69
Depósitos Coluviales.....	70
5.4 Estructuras.....	70
Capítulo VI. Calidad de la materia prima.....	71
6.1. Introducción.....	71
6.2. Composición mineralógica y química.....	71
6.2.1. Composición mineralógica.....	71
Cuerpo albitizado y la grava arcillosa albitizada.....	71
Cuerpo argilizado.....	73
6.2.2. Composición química.....	75
Feldespatos.....	75
Caolín.....	77
6.3. Propiedades tecnológicas de la materia prima.....	77
Características observadas en el cono pirométrico.....	78
Fundencia.....	78
Color de Quema.....	79
Vitrificación.....	79
Análisis dilatométrico.....	80
Capítulo VII. Evaluación de reservas.....	83
7.1. Generalidades.....	83
7.2. Criterios de rentabilidad de los yacimientos.....	83
Criterios variables o técnicos.....	83
Criterios fijos o geológicos.....	84
7.3. Parámetros del yacimiento.....	84
Superficie.....	84
Potencia del yacimiento.....	85
Caolín.....	85
Feldespatos.....	86
Potencia de la sobrecarga.....	86
Análisis de la relación Potencia del Yacimiento/Potencia de la Sobrecarga..	87
Caolín.....	88
Feldespatos.....	88
7.4. Cálculo de las reservas del yacimiento.....	89
Método de la media aritmética.....	89
Reservas Geológicas.....	89

Reservas Rentables.....	90
Caolín.....	90
Feldespató.....	91
7.5. Cálculo del volumen de la sobrecarga.....	91
Caolín.....	91
Feldespató.....	92
Capítulo VII. Conclusiones y Recomendaciones.....	93
7.1. Conclusiones.....	93
7.2. Recomendaciones.....	95
Capítulo IX. Bibliografía.....	96
Anexos.	

Índice de figuras

Figura	Pág.
Fig. 1 Ubicación del Área de Estudio.....	8
Fig. 2 Relieve del Área de Estudio.....	10
Fig.3. Regiones del Ecuador, tomado de Machete et al., (2003).....	18
Fig.4. Mapa Geológico Regional. Modificado de (PRODEMINCA, 2000).....	20
Fig. 5 Vista W de la zona de estudio.....	32
Fig. 6. Columna estratigráfica general de la zona de estudio. Sin escala horizontal. Escala vertical en metros.	47
Fig. 7 Relieve del área minera “La Ercilia”.....	51
Fig. 8. Diagrama Feldespato – Caolín – Cuarzo. En donde se representa la resistencia eléctrica, térmica y mecánica que puede poseer un material cerámico.....	73
Fig. 9. Diagrama arcillas – feldespató – cuarzo, en donde se muestra la formulación de los diferentes tipos de cerámicas.....	75
Fig 10. Conos pirométricos del feldespató La Ercilia “Feldespató Nacional”. Tomado de (Júa, 2005).....	80
Fig 11. Dilatometrías de las tres muestras del área minera “La Ercilia”.....	82

Índice de tablas

Tabla	Pág.
Tabla 1. Ubicación de los vértices del Área Minera “La Ercilia”.....	7
Tabla 2. Especies de flora existentes en la zona de estudio.....	13
Tabla 3. Especies de fauna existentes en la zona de estudio.....	14
Tabla 4. Contenido promedio de los minerales en cuerpo albitizado, realizado en 50 muestras de láminas delgadas.....	72
Tabla 5. Contenido promedio de los minerales en el cuerpo argilizado, realizado en 50 muestras de láminas delgadas.....	74
Tabla 6. Comparación de los resultados de los análisis químicos obtenidos en los diferentes trabajos que se han realizado sobre la materia prima existente en el yacimiento.	76
Tabla 7. Tabla comparativa entre el contenido de óxidos colorantes ver sus color del producto.....	76
Tabla 8. Comparación de los datos obtenidos en los diferentes trabajos de investigación, realizados en la mina.....	77

Tabla 9. Superficies de los bloques de caolín y de feldespato.....	85
Tabla 10. Espesor de la sobrecarga en el yacimiento de caolín rentable.....	87
Tabla 11. Espesor de la sobrecarga en el yacimiento de feldespato rentable.....	87
Tabla 12. Relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga para el caolín.....	88
Tabla 13. Relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga para el feldespato.....	89
Tabla 14. Cálculo de reservas rentables y geológicas de caolín en el área minera “La Ercilia”.....	90
Tabla 15. Cálculo de reservas rentables de feldespato en el área minera “La Ercilia”.....	91
Tabla 16. Cálculo del volumen de sobrecarga en el yacimiento de caolín rentable.....	92
Tabla 17. Cálculo del volumen de sobrecarga en el yacimiento de feldespato rentable.....	92

Índice de fotos

Fotos	Pág.
Foto 1. Parte superior del río Tesoro (UTM: 693050E, 9846100N) Erosión fluvial en el tope de la Fm. Macuchi.....	11
Foto 2. Vista panorámica de la zona de estudio.....	12
Foto 3. Al Suroeste del área minera “La Ercilia” (UTM: 692600E; 9846950N). (1) Microgranodiorita, (2) Brecha de falla; la línea roja representa el trazo de uno de los ramales de la falla estero “El Guatuzo”.	35
Foto 4. Al Sur de cordillera de Tierras Blancas (UTM: 692800E; 9849000N) Depósitos coluviales, en donde los megabloques aquí presentes, pertenecen a la: (1) Fm. Macuchi, (3) Granodiorita de Echeandía.	37
Foto 5. 30m al NE del contacto entre la dacita D2 y el batolito de Echeandía (UTM: 694350E; 9848200N). (1) Fm. Macuchi, (2) dique dacítico propilitizado, (3) microgranodiorita. Las líneas representan el contacto entre las diferentes unidades rocosas.....	39
Foto 6. Noreste del área minera “La Ercilia” (UTM: 694180E; 9848140N). Contacto entre la dacita D2 (1) y la cuarzodiorita del batolito de Echeandía (2).	40
Foto 7. Parte superior de la mina “La Ercilia” (UTM: 693338E; 9847745N). Dique de obsidiana se encuentra completamente montmorillonitizado.....	42
Foto 8. Muestra de mano de la parte central del área minera “La Ercilia”. (UTM: 693250E; 9847550N). Contacto transicional entre la dacita y el cuerpo albitizado.....	43
Foto 9. Vista Sur de la falla “Estero el Guatuzo”, las líneas rojas representan el trazo de falla, las flechas la cinemática de la misma.....	46
Foto 10. Extremo sur del ramal mas grande de la falla (UTM: 692600E; 9846300N). El auténtico plano de falla se encuentra en la parte posterior de este megabloque, en la parte superior derecha de esta foto. Las líneas rojas representan las estrías.....	47
Foto 11. Pozo manual 1 (UTM: 693356E; 9847355n). Realización de una perforación manual, con el equipo Auger.....	52
Foto 12. Pozo 27 (UTM: 693200E, 9847700N). Realización de una perforación a roto - percusión, con diamantina.....	53

Foto 13. Canaletas 60 – 66 (UTM: 693316E; 9847504N). En esta foto se puede observar algunas de las canaletas que se realizaron en la mina.....	54
Foto 14. Parte sureste del banco de explotación 2 (UTM: 693305E; 9847485N). Xenolito de la formación Macuchi en el Área Minera “La Ercilia”. En el extremo derecho de la foto se puede apreciar la propilitización que sufre el cuerpo albitizado.....	57
Foto 15. Parte este del banco 2 (UTM: 693338E; 9847496N). En esta foto se puede observar la ubicación de los tres estadios de la argilización. Estos estados han sido denominados como: E1, E2 y E3.....	62
Foto 16. Pared oeste del banco 2 (UTM: 693263E; 9847600N). A la izquierda se encuentran gravas albitizadas, en el medio una zona propilitizada, y en la parte derecha gravas dacíticas.....	63
Foto 17. Vista norte del banco 2 (UTM: 693263E; 9847600N). Contacto transicional entre el cuerpo argilizado y la zona silicificada.....	68
Foto 18. (UTM: 693358E; 9847370N) (1) Depósito Laterítico, (2) Cuerpo Argilizado (caolinítico), la línea roja representa el contacto discordante entre los dos depósitos.....	69

Índice de Anexos

Anexos

Anexo I. Columnas litológicas

Anexo IA. Columnas litológicas de las perforaciones mecánicas.

Anexo IB. Columnas litológicas de las perforaciones manuales.

Anexo IC. Columnas litológicas de las canaletas.

Anexo II. Análisis petrográfico.

Anexo III. Análisis de láminas delgadas

Anexo IV. Resultados de los análisis PIMA.

Anexo V. Análisis químicos

Anexo VA. Análisis químico de las arcillas.

Anexo VB. Análisis químico de los feldespatos.

Anexo VI. Resultados de los análisis de Difracción de Rayos X.

Anexo VII. Conos pirométricos.

Anexo VIIA. Conos pirométricos obtenidos de las arcillas.

Anexo VIIB. Conos pirométricos obtenidos de los feldespatos.

Anexo VIII. Cortes realizados para la evaluación de las reservas de caolín y de feldespato.

Anexo VIIIA. Cortes realizados para la evaluación de las reservas de caolín.

Anexo VIIIB. Cortes realizados para la evaluación de las reservas de feldespato.

Índice de Mapas

Mapa Geológico Local.....	Mapa 1
Mapa Geológico del Yacimiento.....	Mapa 2
Mapa Geológico del Yacimiento a 10m de profundidad.....	Mapa 3
Mapa del Yacimiento Rentable de los Caolines.....	Mapa 4
Mapa del Yacimiento Rentable de los Feldespatos.....	Mapa 5

Capítulo I.

Introducción.

La Empresa EDESA S.A, que utiliza materias primas como los feldespatos y caolines para la producción de cerámica sanitaria, decidió estudiar a detalle la concesión minera “La Ercilia”, ubicada las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, en el cantón Echeandía, provincia de Bolívar.

Los trabajos de campo abarcaron levantamientos geofísicos y geológicos, perforaciones mecánicas, manuales y la realización de canaletas. Posteriormente se realizó la evaluación de las reservas existentes dentro de la concesión.

Estas labores de exploración se ejecutaron desde el mes de noviembre del 2004 hasta febrero del 2005 y desde junio del 2005 hasta julio del 2005, tiempo en el cual se realizaron los levantamientos geológicos de la zona y del yacimiento, perforaciones mecánicas y manuales, muestreo por canaletas del material que se explota en la mina.

La realización de estos trabajos permitió determinar la configuración del yacimiento con sus diferentes zonas de alteración, así como también la génesis del mismo, que es por alteración hidrotermal de la roca madre. También se pudo determinar la verdadera extensión y geometría, de la parte norte, del batolito de Echeandía.

La roca madre del yacimiento es un apófisis subvolcánico de composición dacítica que sufrió albitización y propilitización por efecto de alteración hidrotermal. Estas albitas se han alterado a caolín, por acción del intemperismo.

1.1. Justificación.

El yacimiento “La Ercilia” en donde se explota caolín y feldespato, presenta partes silicificadas, remanentes de la roca madre, megaxenolitos de la formación Macuchi y del

batolito de Echeandía, zonas propilitizadas, arcillas montmorilloníticas, óxidos de hierro y óxidos de manganeso que afectan a la calidad de la materia prima existente en el lugar, y que no han sido tratadas a detalle en ninguno de los trabajos anteriores. Tampoco existen mapas de ningún tipo que presenten algún fenómeno que ha ocurrido en el yacimiento, excepto la base topográfica. Además no se ha realizado la evaluación de reservas en el área minera “La Ercilia”.

Torres (comunicación personal, 2004), comenta sobre la complejidad de obtener material de calidad apta para la realización de la cerámica sanitaria.

Por lo anteriormente señalado, la empresa EDESA S.A, se ha mostrado interesada en estudiar a detalle el mencionado yacimiento, debido a que este depósito constituye una fuente importante de materia prima para los fines que la empresa persigue.

1.2 Antecedentes.

La Dirección General de Geología y Minas (DGGM, 1979) en las hojas geológicas de Guaranda y Quevedo, presenta la existencia de cuerpos ricos en feldespatos y caolines, que se extienden como un manto que está presente al occidente de Quevedo, Ventanas y Catarama.

El informe técnico de exploración, elaborado por el Departamento de Investigación Minera de EDESA S.A., en el año 1991 (DIM, 1991) consta de un levantamiento geológico local y del yacimiento, levantamiento de columnas litológicas de 5 afloramientos, descripción petrográfica y petrológica, análisis de la composición química y evaluación de reservas del área minera “San Luís” que es colindante con el área minera “La Ercilia”. En este informe concluyen que la roca madre es una andesita ácida que se feldespatizó debido a la acción de fluidos hidrotermales, el caolín es producto de la meteorización de la roca albitizada.

Aspden et al., (2000) reporta la presencia de este tipo de materiales en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, en forma de pequeños cuerpos puntuales que afloran en El Corazón, Las Naves y Echeandía; son descritos como

pequeños depósitos volcánicos cuaternarios indiferenciados de composición andesítica a dacítica de textura porfídica, extruídos por erupciones fisurales.

Bravo (2003), señala que algunos de estos cuerpos feldespáticos se encuentran en explotación y están ubicados en las zonas de contacto con intrusivos terciarios de la Cordillera Occidental; son ricos en albita y oligoclasa con poca ortosa, y son producto de la albitización por soluciones hidrotermales. En el yacimiento “La Ercilia” en Echeandía, se han estimado reservas de 250.000 toneladas, las más grandes del país.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General:

El objetivo primordial, para la realización del presente proyecto, es la realización de un estudio geológico de la zona, del yacimiento y la evaluación de reservas existentes de feldespato y caolín en 17has de la concesión minera “La Ercilia”.

1.3.2 Objetivos Específicos:

Los objetivos específicos planteados para la realización del presente estudio, son:

1. Efectuar un levantamiento geológico detallado de la parte del yacimiento que se encuentra en explotación, por la empresa EDESA S.A.
2. Elaborar el modelo geológico del yacimiento.
3. Determinar las características mineralógicas y químicas de los feldespatos y de los caolines.
4. Determinar la calidad de las arcillas y de los feldespatos, con miras a su utilización en la industria cerámica.

5. Evaluar las reservas geológicas y rentables tanto para los feldespatos, como para los caolines.

1.4 Alcances y Limitaciones.

1.4.1 Alcances.

En el presente trabajo de investigación, se planteó obtener los siguientes resultados:

1. Mapa geológico local del sector, a la escala 1:5000, de un área aproximada de 14.1 km².
2. Mapa geológico del yacimiento, a la escala 1:1000, de un área de 17 has.
3. Mapa de la calidad del yacimiento, escala 1:1000, de la misma área anterior.
4. Estudio microscópico de 56 láminas delgadas provenientes del yacimiento y de la zona. Análisis químico de 102 muestras, y de calidad (conos pirométricos, ensayos de dilatometría) de 280 muestras.
5. Evaluación de las reservas del yacimiento.

1.4.2 Limitaciones.

Las labores de investigación fueron restringidas a las 17has que están dentro de la concesión minera “La Ercilia”.

1.5. Metodología.

La realización del presente proyecto, se dividió en las siguientes etapas: trabajos previos, de campo, de laboratorio y de gabinete.

Los trabajos previos consistieron en la recolección de toda la información bibliográfica y cartográfica.

Los trabajos de campo abarcaron el levantamiento geológico de la zona y del yacimiento. En esta etapa se realizaron las siguientes labores de exploración:

- Treinta y dos perforaciones a diamantina con una longitud total de 600m aproximadamente.
- Veinte perforaciones manuales con el equipo de perforación auger, con una longitud total aproximada de 140m.
- Sesenta y seis canaletas aproximadamente de 0.8m de ancho, 0.3 de profundidad y una longitud que varía desde 4 a 15m.
- Levantamiento de columnas litológicas en la zona de estudio y en el yacimiento, en los sitios que se prestaron para esto.

Los trabajos de laboratorio comprendieron:

- El análisis petrológico de láminas delgadas de 56 muestras que se realizaron en los laboratorios del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional.
- El análisis de Difracción de Rayos X de 12 muestras de arcilla. Análisis químico de 102 muestras que se los llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de la Universidad Central del Ecuador.
- Los ensayos de calidad de materia prima se realizaron en los laboratorios de EDESA S.A.

Los trabajos de gabinete consistieron en el análisis e interpretación de los datos obtenidos en el campo, así como también de los resultados arrojados por los diferentes

ensayos realizados en los laboratorios. Dentro de estos trabajos se elaboró el documento en donde se detalla los trabajos realizados y resultados obtenidos en cada una de las etapas descritas anteriormente.

Capítulo II.

Generalidades de la zona de estudio.

2.1 Ubicación y Vías de Acceso.

2.1.1 Ubicación.

El área minera “La Ercilia”, se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas UTM (Tabla 1).

Vértices	UTM Norte	UTM Este
P.P.	9847182	693110
1	9847982	693110
2	9847982	693610
3	9847182	693610

Tabla 1. Ubicación de los vértices del Área Minera “La Ercilia”.

Estas coordenadas están dentro del recinto El Tesoro, que a su vez pertenece al cantón Echeandía, provincia de Bolívar. Esta población está asentada a 8km al Norte de la ciudad de Echeandía.

Geográficamente se encuentra ubicada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, entre 1° S y 2° S, a 200 km al Sur occidente de Quito (Ver fig.1).

2.1.2 Vías de Acceso.

Existen dos formas de arribar al área de estudio. La primera de éstas, es por la Costa, por la carretera Quito – Santo Domingo – Quevedo – Ventanas – Echeandía, que

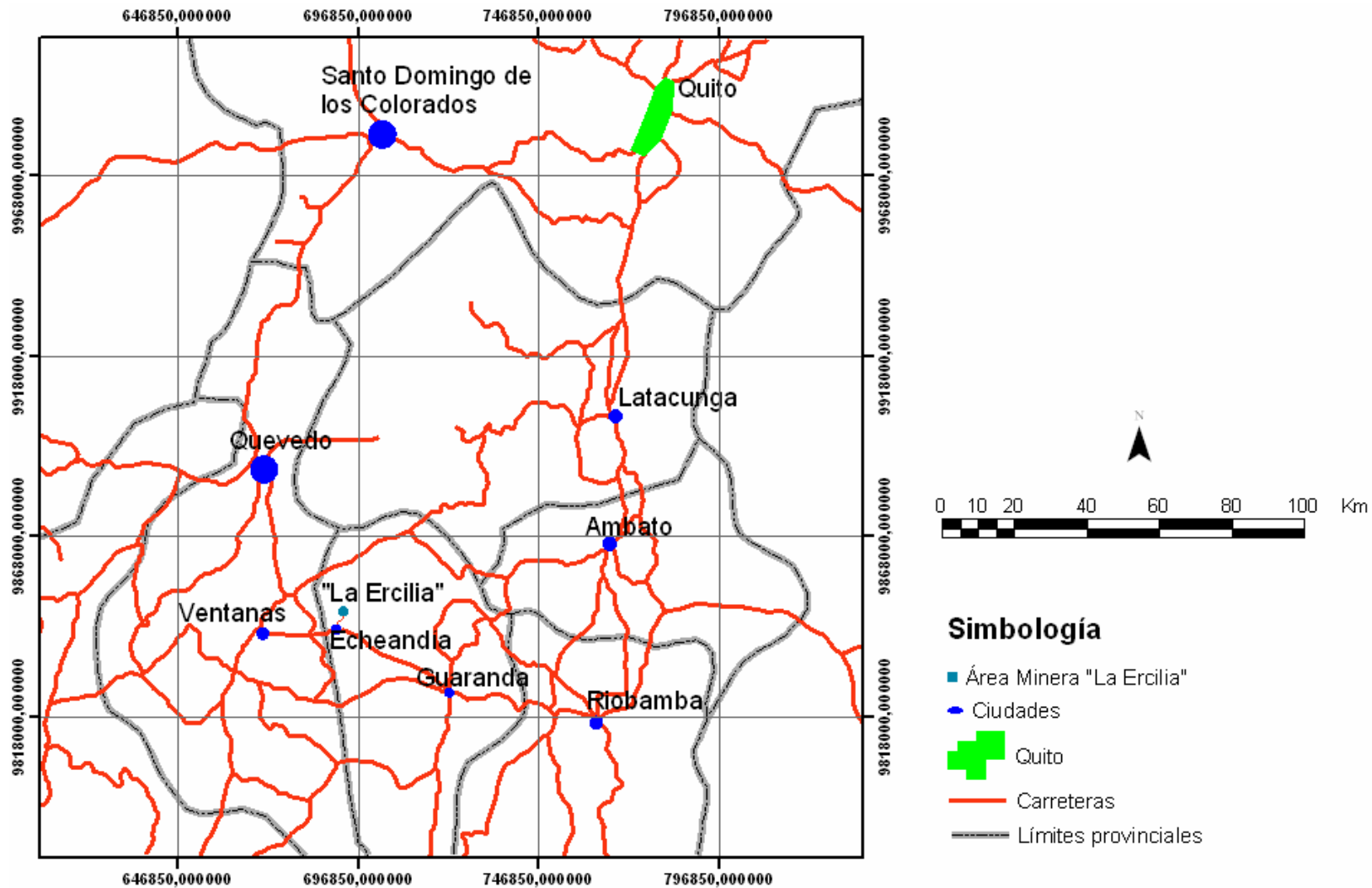


Fig. 1. Ubicación del Área de estudio

es una vía de primer orden. Desde Echeandía hasta el área minera, existe una carretera de segundo orden. (Ver Fig. 1).

La segunda forma de acceso, es por la carretera Quito – Latacunga – Salcedo – Ambato – Guaranda – Echeandía; desde Quito hasta Guaranda, la carretera es de primer orden.

2.2 Topografía e Hidrografía.

2.2.1 Topografía.

La zona de estudio se encuentra ubicada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, a 700 m.s.n.m. sobre la denominada Cordillera de Tierras Blancas. Esta cordillera tiene una dirección WSW y una altura máxima de 1000 m.s.n.m. (ver Fig. 2).

Las partes más bajas tienen una altura que oscila entre 340 y 350 m.s.n.m. y se encuentran localizadas al Norte en el recinto El Congreso, y al Sur en Echeandía, respectivamente.

2.2.2 Hidrografía.

Hidrográficamente, la cordillera de Tierras Blancas es un divisorio de dos cuencas, una al Norte que es la del río Runayacu y otra al Sur que es la del río Sibimbe. Estos ríos son alimentados por una serie de esteros que nacen en las partes altas de la mencionada cordillera. (Ver fig. 2).

La cuenca norte, es la cuenca del río Runayacu, cuyas aguas recorren en una dirección Este – Oeste. Los esteros que alimentan a este río son El Guatuzo, La Matilde y Las Trancas, estos tienen una dirección de flujo aproximada Sur – Norte.

La cuenca sur, es la cuenca del río Soloma, que nace en las partes altas de la Cordillera Occidental, cruza la ciudad de Echeandía y tiene una dirección de flujo Este–Oeste. Este río se une con el río Tesoro y el estero de Damas, que nacen en las partes altas de la Cordillera de Tierras Blancas y tienen una dirección de flujo Norte – Sur, para formar el río Sibimbe (Ver Fig.2).

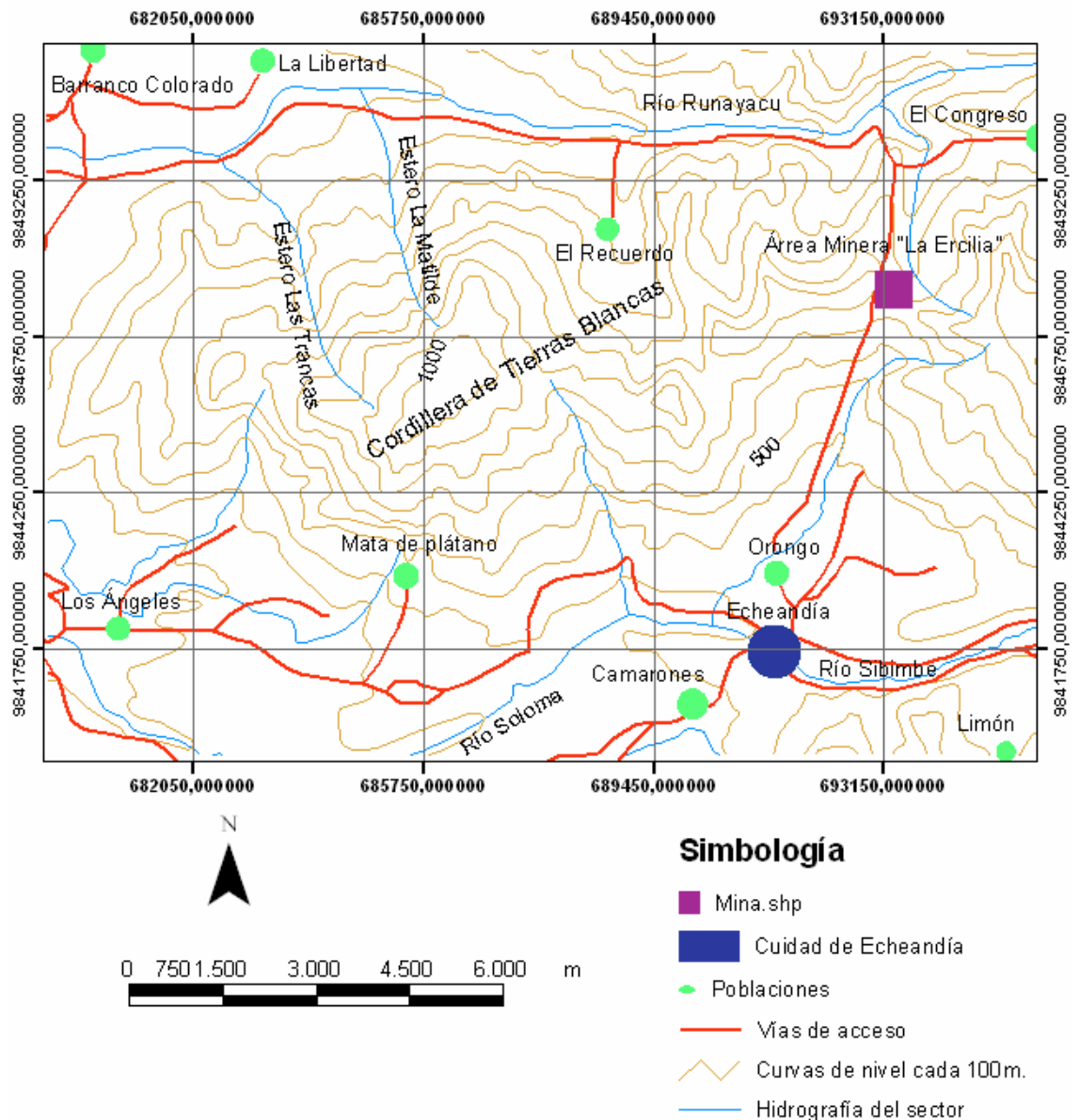


Fig. 2. Relieve del área de estudio.

Estos ríos tienen una gran capacidad de abrasión, ya que han ido erosionando los estratos rocosos, por los cuales atraviesan (ver foto 1).



Foto 1. Parte superior del río Tesoro (UTM: 693050E, 9846100N) Erosión fluvial en el tope de la Fm. Macuchi.

2.3Clima.

El clima dominante en la región, corresponde a la faja temperada subandina externa y subtropical andina, sus bosques pertenecen a la selva fluvial mesotérmica con altas valores de pluviosidad. (Albuja et al., en impresión).

Las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, tienen menos precipitación debido a la corriente de Humboldt, las partes más bajas están cubiertas por una selva húmeda. La humedad relativa existente en la zona oscila entre el 74% al 93% (Albuja et al., en impresión).

Cabe recalcar la falta de funcionamiento de la estación climatológica existente en la zona, por lo cual se tomó en cuenta los datos registrados en la estación climatológica de Caluma hasta el año de 1999, los cuales constan en el anuario del INAMHI (AI, 1999).

La precipitación en la región de estudio, registra sus valores más bajos en los meses comprendidos entre Mayo a Diciembre con un promedio de 35,28mm mensuales (AI, 1999), mientras que la mayor precipitación se registra desde Enero a Abril con un promedio de 399,42mm mensuales (AI, 1999) y una media anual de 156,66 mm.

Las temperaturas mínimas registradas en la zona están alrededor de 22,9°C y una temperatura máxima de 25,1°C, dando un promedio anual de 23,9 °C (AI, 1999).

La nubosidad permanece constante durante todo el año y es de 7/8 de cielo cubierto (AI, 1999).

2.4 Flora y Fauna.

La flora y la fauna que están presentes en el lugar corresponden a un clima subtropical, que está comprendido entre en el intervalo de 300 a 2000 m.s.n.m, debido a lo cual, se puede encontrar una influencia de la flora y fauna del sector costero propiamente dicho y de las zonas templadas (Patzelt, 1985). Ver Foto 2.



Foto 2. Vista panorámica de la zona de estudio.

2.4.1 Flora.

La flora encontrada en el sector, corresponde a selva submacrotérmica hidrófila (bosques secundarios), que se encuentra comprendida entre alturas que van desde los 400 a 2000 m.s.n.m (Palacios, 2003).

En la zona se encuentra una gran variedad de plantas que pertenecen al clima tropical, así como también al clima subandino (Patzelt, 1985).

En el siguiente cuadro, se muestran las plantas nativas y la familia a la que pertenecen:

Nombre Común	Nombre Científico	Familia
Cascarilla Cinchona Quina	Cinchona Pubescens o Cinchona Succirubra	Rubiaceas
Guarumo	Cecropia	Moraceas
	Gunnera Brephogea	Haloragaceas
Bromelia	Guzmanías, tillandsia, confinera, melanosis, aechmea, seemanii, heretophylla, pitcarnea.	Bromeliáceas
Planta insectívora	Utricularia Unifolia	Lentibulariaceas
Atuczara	Phytolacca americana	Fitolacaceas
Orquídeas	Maxillaria Striata	Orquídeas
Ceibo	Ceiba pentadra	Bombacaceas
Pitahaya	Ripsalis	Cactacea
Lirio de Agua	Eichhornia crassipes	Pontederiaceas
Pambil	Iriartea Gigantea	Palmas
Florón, matabra, borrachera	Ipomea Carnea	Convolvulaceas
Palo prieto	Eritrina splendida	Leguminosas
Palma de goma	Zamia lindenii	Cicadáceas

Tabla 2. Especies de flora existente en la zona de estudio (Tomado de Patzelt, 1985).

Las especies cultivadas en la zona son: maíz, arroz, cacao, naranja, mandarina, limón taiti, banano, guineo (PDLCE, 2004).

2.4.2 Fauna.

La fauna existente en este lugar pertenece a la faja temperada subandina externa y subtropical andina, en donde existe una gran cantidad de peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos a detallarse en el siguiente cuadro:

Especie	Nombre Científico	Nombre Vulgar
Peces	Rhamdia	Bagres
	Pygidium	Bagres
	Astroblepus longibilis	Preñadillas
	Ichthyolephas humeralis	Bocachicos
	Corydoras episocopi	Coridoras
Anfibios	Hyla	Sapo
	Gastrotheca	Sapo verde
	Anphignatodon	Sapos
	Bolitoglossa	Salamandras
	Atelopus	Jambatos
Reptiles	Gekkonidae	Salamanquesas.
	Viperidae	Víboras
	Elapidae	Corales
	Anolis proboscis	Iguanas
	Nothocerus julius	Yutas, tinamús o falsas perdices
Aves	Ardeidae	Garzas vaqueras.
	Merganetta armata	Patos de los Torrentes.
	Accipítridos	Gavilanes, guarros
	Falcónidos	Curiquingues
	Penélope montagni	Pavas de monte
	Columba plumbea	Tórtolas y palomas
	Aratinga wagleri	Loros.
	Pionus selinoides	Pericos
	Agelaiocercus kingi	Colibríes
	Dorífera ludoviciae	Las viudas
	Colibrí delphinae	Quindes reales
	Coeligena troquata	Quindes corbata
	Trogonidae	Guajalitos y mingalitos
	Picidae	Carpinteros
	Rupícola peruviana	Gallos de la peña
	Tyrannus melancholicus	Sotas gavilanes
	Thraupidae	Sigchas o tángaras.

Especie	Nombre Científico	Nombre Vulgar
Mamíferos	Desmodus rotundus	Quirópteros, murciélagos, chimilacos, tutapishcos
	Ateles fusciceps	Maquizapa, brasilargo, tutamono, mono nocturno, macuro.
	Cyclopes didactylus	Flores de balsa
	Bradypus infuscatus	Perezosos o pericos ligeros
	Dasyopus no vemcinctus	Armadillos
	Lagomorpha	Conejos
	Sciurus granatensis	Ardillas
	Cricétidos	Ratas y ratones
	Dinomys branickii	Pacaranas o guantas de cola
	Dusicyon culpaeus	Lobos de páramo
	Tremarctos ornatus	Osos de anteojos
	Tapirus pinchaque	Tapires de altura

Tabla 3. Especies nativas de la zona de estudio. Tabulado de los datos obtenidos del trabajo de (Albuja et al., en impresión).

2.5 Población.

El cantón Echeandía, según los resultados del VI Censo de Población y V de Vivienda, registra una población de 10.951 habitantes, de estos el 50,6% son hombres y el 49,4% son mujeres; entre estos 35,5% es menor a 15 años, 37,3% de 15 a 39 años y el 27,2% es mayor a 40 años. El 41,8% corresponde al área urbana y el 58,2%, al área rural (PDLCE, 2004).

Las actividades productivas a las que se dedican los habitantes del cantón son la agricultura, ganadería, caza y pesca en un 57,1%, al comercio en 10,1%, educación 4,7%, al transporte 3,6%, construcción 3,9% y 24,5% restante se dedica, entre otras actividades, a la administración pública, servicio social, turismo, etc. (PDLCE, 2004).

En lo referente a la educación, el cantón presenta una tasa del 12,8% de analfabetismo. El 53,8% ha recibido la instrucción primaria en forma completa, el 11,8% la instrucción secundaria, y tan solo el 10% la instrucción superior, lo que refleja escasez de profesionales capacitados (PDLCE, 2004).

El abastecimiento de los servicios básicos es bastante limitado, debido a que solo el 57.4% de los pobladores reciben agua de la red pública, el 34.5% posee servicio de alcantarillado, 84.4% tiene energía eléctrica y 9.6% recibe el servicio de telefonía pública (PDLCE, 2004).

En el cantón el promedio de vida es de 60 años. La cobertura, en lo que a salud pública se refiere, también es bastante limitada debido a que no existen hospitales, sino solo centros de salud (PDLCE, 2004).

Capítulo III.

Geología Regional.

3.1 Generalidades.

El Ecuador posee una gran variedad de dominios morfoestructurales. De estos dominios, se procede a describir brevemente y de una forma muy general, las características de la Cordillera Real, la Cuenca Oriente, la Costa, la Cordillera Occidental y el Valle Interandino (Ver fig. 3).

El basamento de la Cordillera Real se encuentra constituida por un colage de terrenos, de edad jurásica, de distintos ambientes de formación, acrecionados al continente en diferentes escenarios tectonometamórficos (Aspden et al., 1997).

La Cuenca Oriente está constituida por secuencias volcánicas y sedimentarias, que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario y descansan sobre un basamento precámbrico. Esta cuenca se estructuró como el resultado de esfuerzos transpresivos presentes a partir de Cretácico Superior, los que provocaron la emersión del basamento de la Cordillera Real y la formación de la cuenca de tras – arco propiamente dicha (Rivadeneira y Baby, 1999).

El basamento de la Costa y de la Cordillera Occidental, está formado por fragmentos de terrenos oceánicos acrecionados al continente (Mamberti, et al. 2002), los cuales habrían sido originados en diferentes escenarios oceánicos (Jaya, en impresión).

La Costa ecuatoriana se encuentra asentada sobre un basamento de afinidad de piso oceánico de edad Aptiano – Albiano. Sobre este basamento descansa una potente secuencia de volcanosedimentos y sedimentos marinos que tienen un rango de edad Cretácico Superior a Eoceno Superior. Estos sedimentos son sobreyacidos por sedimentos de las cuencas neógenas de ante arco que se desarrollaron en el área costera (Jaillard et al., 1995).

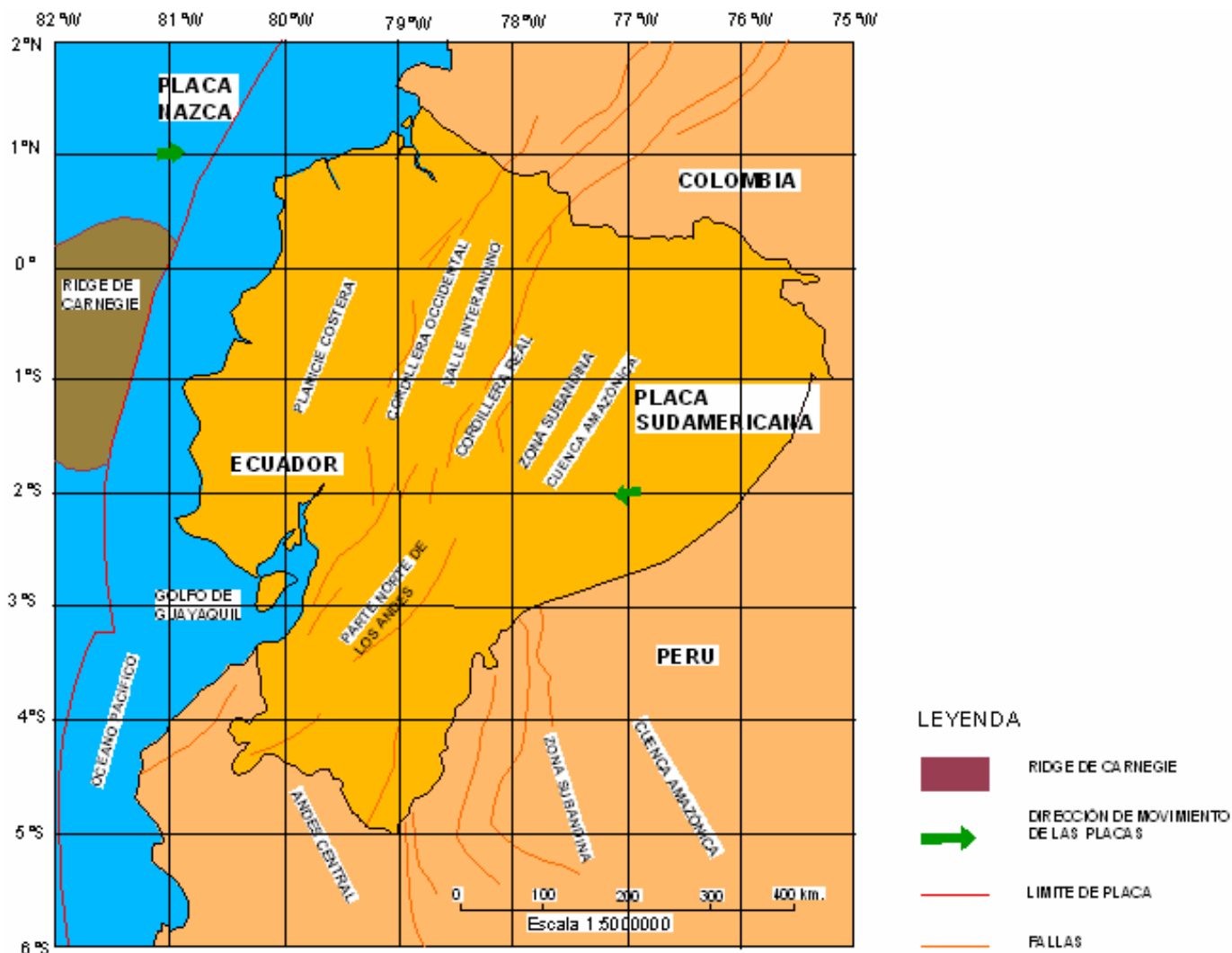


Fig.3. Regiones del Ecuador, tomado de Machete et al., (2003)

La Cordillera Occidental se encuentra asentada sobre una corteza oceánica acrecionada al continente, de edad turoniana (Mamberti et al., 2003). Esta corteza es sobreyacida por secuencias de arco insular intercaladas con sedimentos de origen marino. Toda esta serie, a su vez, es sobreyacida por rocas calco – alcalinas de ambiente continental (PRODEMINCA, 2000). La concesión minera “La Ercilia” se encuentra asentada sobre las estribaciones occidentales de esta cordillera.

Según (PRODEMINCA, 2000), el lugar donde se encuentra situada la mencionada concesión, está conformado por depósitos volcánicos cuaternarios. De lo observado en el campo, se desprende que el sustrato en donde se encuentra ubicada el área minera “La Ercilia”, está conformado por rocas subvolcánicas del Mioceno Temprano.

El Valle Interandino, se encuentra compuesto por una secuencia Plio – Cuaternaria de depósitos de origen continental, que han sido plegados y fallados a varias escalas. Algunas de estas estructuras son paralelas a la cadena montañosa, mientras que otras poseen una dirección oblicua a esta (Tibaldi y Ferrari, 1992).

3.2 **Estratigrafía.**

Las unidades estratigráficas presentes en la región son las siguientes (ver fig.4):

Formación Macuchi (P_CE_M). Esta formación toma su nombre del pequeño pueblo de Macuchi en la ruta La Maná-Latacunga, que es su área tipo. Domina la parte oeste de las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental. Se encuentra intruída y localmente metamorfizada por un grupo de plutones, cuya edad varía de 35 a 14 Ma.

Se encuentra en contacto en la parte occidental con unos depósitos cuaternarios y en la parte oriental, con una serie de depósitos que tienen una edad desde eocénica a cuaternaria. Además se encuentra sobreyacida por la Unidad Arrayanes, en la parte suroriental.

La litología de esta formación comprende: areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, hialoclastitas, limolitas volcánicas, microgabros y diabasas, basaltos subporfidíticos, lavas en almohadillas y escasas calcarenitas. Estas rocas son productos de actividad volcánica efusiva submarina, mezclados con materiales retrabajados que fueron depositados por procesos de flujo de masas (BGS-CODIGEM, 1993). La facies sedimentaria consiste de debritas pobremente sorteadas, areniscas turbidíticas y hialoclastitas intercaladas con delgados lentes de brechas matriz soportadas, areniscas de composición basáltica y capas delgadas de calizas (Hughes y Pilatasig, 2000).

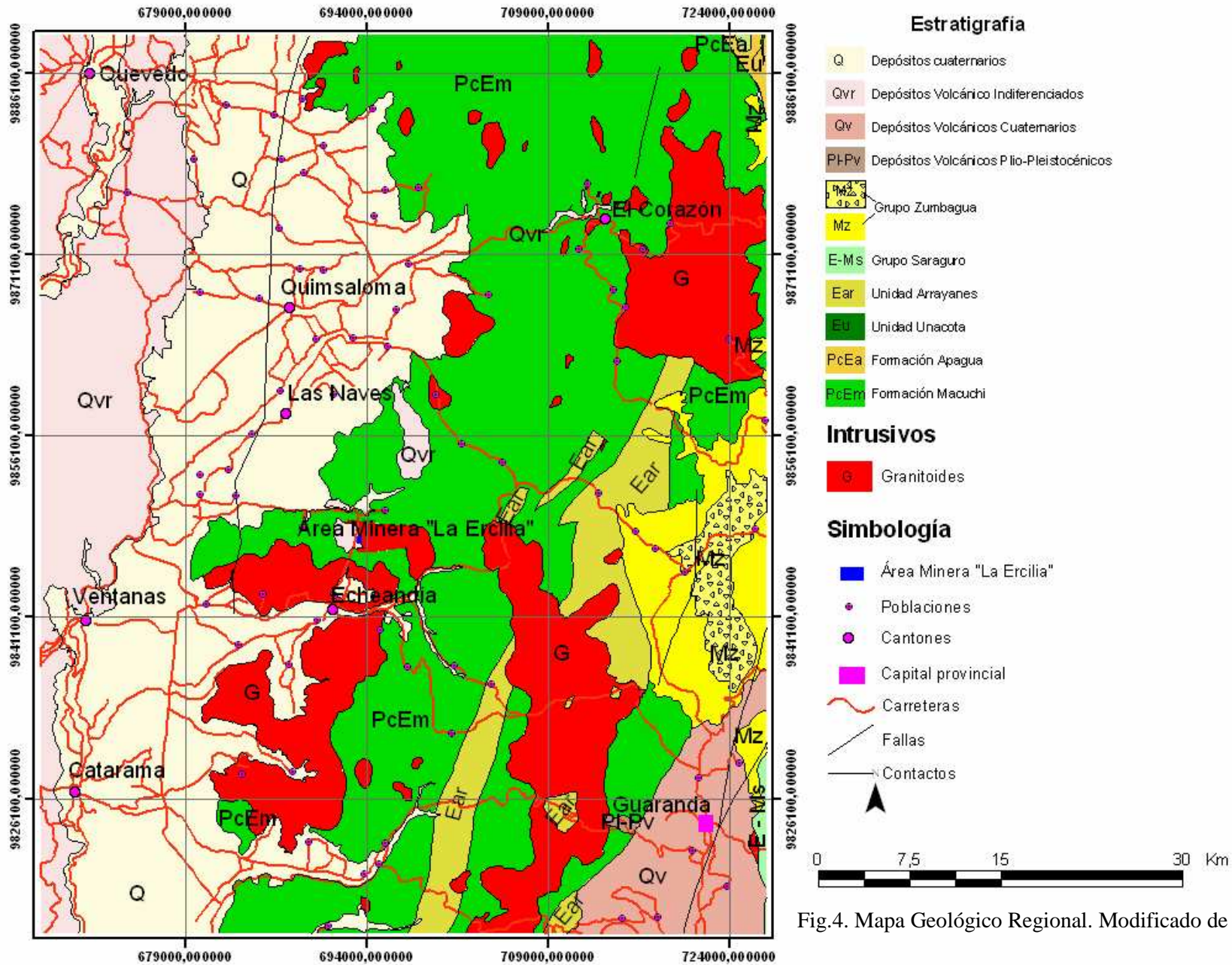


Fig.4. Mapa Geológico Regional. Modificado de (PRODEMINCA, 2000).

La característica geoquímica que tiene esta formación, muestra una afinidad de arco de islas, que comprende basaltos a andesitas basálticas subalcalinas de afinidad toleítica a calcoalcalina (Hughes y Pilatasig, 2000), con características geoquímicas relacionadas a subducción (BGS-CODIGEM, 1993).

La edad de esta formación es de Eoceno Temprano, evidenciado por la existencia de radiolarios y foraminíferos reportados por Egüez (1986), en el área tipo. Adicionalmente, las dataciones K/Ar realizadas en sills de andesita basáltica, que cortan la secuencia en la misma área, han dado edades de 42 ± 2 y 36 ± 2 Ma; y si además se tiene en cuenta que no se observa su base, es probable que por lo menos una parte de esta secuencia sea de edad paleocena, debido a lo cual se considera que la Formación Macuchi, es de edad Paleoceno a Eoceno Medio (Aspden et al., 2000).

El Grupo Angamarca (P_CE_{Ag}). A este grupo pertenecen 5 formaciones que son: Formación Apagua, Formación Gallo Rumi, Formación Pilaló, Unidad Unacota y Unidad Rumi Cruz, de las cuales la Formación Apagua y la Unidad Unacota están presentes en la región estudiada. Estas rocas afloran al Noreste del cantón El Corazón (Aspden et al., 2000).

Estos depósitos están sobreyacidos por lavas andesíticas indiferenciadas, y se encuentran en contacto en su parte occidental con las rocas de la Formación Macuchi. Las rocas que pertenecen a este grupo corresponden a una secuencia de relleno de cuenca siliclástica, engrosada hacia arriba, y que varía de un ambiente de abanico submarino a uno de abanico-delta, en la parte central de la cuenca se muestra una programación desde fan submarino a fan de delta. (Hughes y Pilatasig, 2000).

Las rocas pertenecientes a este grupo son correlacionables con las rocas del Grupo Saraguro. La datación en una toba registró una edad de $37,8 \pm 3,5$ Ma, lo que indica que la depositación clástica en la Cuenca Angamarca continuó en el Eoceno Tardío (Hughes y Pilatasig, 2000).

- **Formación Apagua (P_CE_A).** Está en contacto con las rocas de la Formación Macuchi en su parte occidental y sobreyacida por las calizas de la Unidad Unacota y lavas andesíticas indiferenciadas. Comprende areniscas finogranulares, en estratos finos a medios, intercaladas con limolitas negras silicificadas en secuencias de Bouma Tabce y areniscas masivas de grano más grueso (Bourgois y Egüez, 1990).

Las areniscas son limpias, bien sorteadas, contienen muy pocos líticos y se caracterizan por un alto contenido de cuarzo, la presencia de sericita y la virtual ausencia de minerales máficos (Bourgois y Egüez, 1990), además son cuarzo – feldespáticas, con arenas micáceas masivas, con pirolusita y óxidos de hierro en fracturas (Hinojosa, 2005).

Estas secuencias son comúnmente gradadas con guijarros en las bases y tienen estructuras de carga débilmente desarrolladas, lo que implica una secuencia turbidítica (clástica) (Egüez y Bourgois, 1986), estas turbiditas son sublitoarenitas, litoarenitas y grawackes líticas; estas se han depositado en un ambiente tectónico de levantamiento plutónico y metamorfismo de las áreas adyacentes (Toro y Jaillard, en impresión). El plegamiento hace difícil estimar el espesor de la secuencia, sin embargo, en la sección Apagua-Angamarca, pueden estar presentes hasta 1500 m.

La edad de esta formación está ubicada en el Eoceno Superior, según la evidencia paleontológica (Bourgois y Egüez, 1990; Van Thournout et al., 1991).

- **Unidad Unacota (E_U).** Se presenta como un cuerpo lenticular de calizas que sobreyacen concordantemente a la Formación Apagua. Litológicamente consiste de biomicritas y esparitas (Bourgois y Egüez, 1990). Además de esto, contiene acumulaciones de estromatolitos que indican una profundidad de depositación menor a los 200 m. (Hughes y Pilatasig, 2002).

La edad de esta formación es Eoceno Medio a Tardío, evidenciado por la presencia de fauna foraminífera en el área tipo (Bourgois y Egüez, 1990). La presencia de calizas de la misma edad en las cuencas de Progreso, Manabí y Borbón sugieren un bajo nivel eustático del mar, en el Eoceno Medio (Hughes y Pilatasig, 2002).

Unidad Arrayanes (E_{AR}). Esta unidad se encuentra aflorando en la parte occidental y noroccidental de la ciudad de Guaranda, y está sobreyaciendo en forma discordante a las rocas de la Formación Macuchi (Aspden et al., 2000), y está en contacto discordante con los depósitos del Grupo Zumbagua. Además se encuentra intruída y localmente metamorfozada por plutones oligo – miocénicos que tienen un rango de edades de 35 a 14 Ma, y que han mineralizado a la Unidad (Aspden et al., 2000; Lugo, 2003).

Su litología está compuesta por una secuencia turbidítica distal, bien estratificada, típicamente con buzamientos moderados, de areniscas volcánicas ricas en máficos, cuarzo – arenitas, lutitas silíceas y lavas subordinadas, basálticas a andesitas basálticas, afíricas a fíricas con plagioclasa (Lugo, 2003), en secuencias Tabce que presentan gradación, laminaciones convolutas y estructuras en llama. Esta secuencia representaría el fin de la acreción del arco de islas Macuchi al continente (Bourgeois y Egüez, 1990).

Los depósitos volcánicos son basaltos toleíticos con bajo contenido de K a calco – alcalinos moderadamente diferenciados, con afinidad de arco de islas. La edad sugerida para esta unidad es Eoceno Tardío, basado en evidencia paleontológica (Aspden et al., 2000).

El Grupo Saraguro (E-M_S). Aflora al Este de la ciudad de Guaranda, en una franja de dirección N – S, se encuentra sobreyacida por las rocas del Grupo Zumbagua y en su parte occidental está en contacto con depósitos volcánicos cuaternarios.

La litología de este grupo, en el lugar, comprende rocas volcánicas calco – alcalinas, continentales, dominadas por tobas andesíticas a riolíticas con importantes horizontes de toba de flujo de ceniza soldada y lavas andesíticas subordinadas de color gris verdoso. Además de esto se encuentran brechas y tobas andesíticas datadas en alrededor de 24.4 ± 1 Ma mediante trazas de fisión en zircón, debido a lo cual la edad propuesta para este grupo es Oligoceno Tardío (Aspden et al., 2000).

El Grupo Zumbagua (M_Z). Se halla expuesto en la parte N y NE de la ciudad de Guaranda. En el Sur, está en contacto con depósitos volcánicos cuaternarios, en el occidente está en

contacto con las rocas de la Unidad Arrayanes y al Norte con los depósitos de la Formación Macuchi.

La litología de este grupo consiste básicamente de areniscas de grano grueso, muy pobremente clasificadas y brechas debríticas no clasificadas, matriz – soportadas en capas de hasta varios metros de potencia; las cuales son ricas en líticos y/o cristales (cuarzo-feldespato-anfibol). También están compuestas por tobas ácidas a intermedias, areniscas tobáceas y localmente por brechas horizontales interpretadas como unidades laháricas. Los clastos en las areniscas gruesas, brechas y lahares están compuestos de material volcánico (Aspden et al, 2000).

Dataciones realizadas mediante trazas de fisión en zircón en areniscas tobáceas indican un rango de edad de 16.8 a 7.9 Ma, por lo cual, las rocas de este grupo pertenecen al Mioceno Medio a Tardío (Aspden et al, 2000).

Volcánicos Plio-Pleistocénicos Indiferenciados (P_L-P_V). Aspden et al., (2000), los incluye en los depósitos volcánicos plio – pleistocénicos indiferenciados a los denominados como Lourdes, Sagoatoa y Puñalica. Los depósitos volcánicos Lourdes son los únicos que afloran en la región.

Los **depósitos volcánicos Lourdes** se encuentran en la parte occidental de la ciudad de Guaranda, como un pequeño lente de dirección E – O, se encuentran sobreyaciendo a la Formación Macuchi.

Según la Dirección General de Geología y Minas (1979), estas lavas son descritas como dacíticas de color blanco, de grano medio, intercaladas con brechas, que se encuentran hidrotermalmente alteradas, a las cuales se les ha asignado una edad plio – pleistocénica.

Volcánicos Cuaternarios (Q_V). Según Aspden et al., (1997), estos depósitos volcánicos comprenden los conocidos como Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Carihuairazo, Guaranda, Palmira y Cangahua, de los cuales se describe a los depósitos volcánicos

denominados Guaranda, debido a que son los únicos que se encuentran presentes en el área de estudio.

Los **depósitos volcánicos Guaranda** son una serie de tobas andesíticas de color café y grano fino, intercaladas con lavas andesíticas porfiríticas, recubiertas por depósitos periclinales de ceniza y pómez pobremente consolidados. La edad sugerida para estos depósitos es pleistocénica (Aspden et al., 2000).

Volcánicos Cuaternarios Indiferenciados (Qvr). Estos depósitos se encuentran formando un amplio manto que aflora al lado occidental de la carretera Quevedo – Catarama, y en forma puntual al norte de Echeandía, al sureste de Las Naves y al occidente de El Corazón. Estos depósitos yacen discordantemente sobre las rocas de la formación Macuchi y son sobreyacidos por depósitos cuaternarios (DGGM, 1979).

Se encuentran conformados por una serie de lavas ácidas que contienen bandeamientos de flujo y textura traquítica e intercaladas con tobas claras, que son horizontales y bien estratificadas. Aspden et al., (2000) afirma que estos depósitos se originaron mediante erupciones fisurales, y les asigna una edad pleistocénica.

Mediante la realización de los trabajos de campo se ha determinado que estas son cuerpos subvolcánicos de composición dacítica, que ha sufrido alteración hidrotermal. Debido a esto, el cuerpo se ha albitizado. Las arcillas caoliníticas que se encuentran sobre este cuerpo albitizado, son producto de la meteorización de este cuerpo.

Depósitos Cuaternarios (Q). Esencialmente se encuentran compuestos por depósitos aluviales y coluviales que dominan el margen occidental de la Cordillera Occidental, particularmente en la parte noroeste de la región y también ocurren a lo largo de los valles de los ríos mayores (Winckell et al., 1989). Incluyen unidades de terraza de ríos.

Las terrazas de los ríos están compuestas de arcilla, limo, arena y grava en capas lenticulares que contienen estructuras de laminación cruzada, intercaladas con finas capas de ceniza volcánica (DGGM, 1979).

3.3 Magmatismo.

El magmatismo, en esta sección de la Cordillera Occidental (Ver fig. 4), está representado por los batolitos de Echeandía, Chazo Juan – Telimbela y el Corazón. Además de esto se puede apreciar la presencia de una gran cantidad de pequeños cuerpos intrusivos, que se localizan en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental. Todos estos cuerpos son alargados, con una dirección preferencial Norte – Sur.

Estos batolitos se encuentran bastante meteorizados con agudos contactos intrusivos y aureolas de metamorfismo de contacto bien definidas. Además, tienen una composición calco – alcalina (Aspden et al., 2000). A continuación se procede a la descripción de los más grandes de estos batolitos.

Chazo Juan - Telimbela. En el área de Chazo Juan, el batolito tiene composición granodiorítica de hornblenda y biotita, y se encuentra cortado por diques melanocráticos de composición diorítica a cuarzodiorítica, siendo estos holocristalinos equigranulares (CIAJMM, 1991). Este batolito está datado en 21 a 19 Ma. (PRODEMINCA, 2000).

En el área de Telimbela, el batolito tiene una composición granodiorítica leucocrática con cuarzo, hornblenda – biotita. Este batolito se encuentra cortado por diques de composición diorítica melanocrática, diques de diorita pseudos - porfídica con fenocristales de cuarzo a dioritas cuarzo – hornbléndicas y diques aplíticos (CIAJMM, 1991).

La mineralización que presenta este batolito es de pórfido de cobre, con metales valiosos (Au – Cu) (CIAJMM, 1991).

Echeandía. Denominado como “Batolito La Industria – Yatubi” por CIAJMM en 1991, y Echeandía por Aspden et al., (2000). Este batolito tiene una composición cuarzodiorítica a diorita melanocrática, con una edad de $25,5 \pm 0,9$ Ma en hornblenda (CIAJMM, 1991) y de 26 a 23 Ma en hornblenda (Aspden et al., 2000).

La mineralización encontrada en este batolito es de tipo pórfido de cobre (Au – Cu), y puntualmente se ha encontrado mineralización de hot springs de Au – Ag – Cu, en zonas periféricas del batolito (CIAJMM, 1991).

El Corazón. Es un batolito granodiorítico rico en hornblenda y biotita, que es cortado por una serie de diques aplíticos de composición andesítica (DGGM, 1979). Este batolito se encuentra rodeado por una aureola de metamorfismo de 1 km de espesor máximo, presenta xenolitos de cornubianitas.

La mineralización que presenta este cuerpo es de pirita y calcopirita, que se encuentran en la aureola metamórfica (DGGM, 1979). La edad de este cuerpo es de 19.1 Ma (Aspden et al., 2000).

El batolito más viejo que se encuentra en esta región, es el de Echeandía y el más joven es el de El Corazón. Al observar las edades y la ubicación de todos los batolitos se puede concluir que el arco magmático se extinguió progresivamente en una dirección Sur – Norte.

Posiblemente, todo este plutonismo pertenece al denominado evento geotectónico Saraguro del Eoceno Superior a Mioceno Medio, el cual se caracteriza por un volcanismo continental subaéreo calco – alcalino y plutonismo tipo I, superpuesto sobre un collage de terrenos (PRODEMINCA, 2000).

3.4. Estructuras.

En esta parte del capítulo se procede a describir las estructuras resultantes de la tectónica, así como la geotectónica, existentes en la zona de estudio.

3.4.1. Tectónica.

Las estructuras resultantes de los paleo – esfuerzos que existieron en la zona, son: el lineamiento Chimbo – Toachi, así como también los plegamientos existentes en la Formación Apagua y en las rocas del Grupo Zumbagua.

Lineamiento Chimbo – Toachi. Según Hughes y Pilatasig (2002), esta es una zona de cizalla, la cual sería una sutura entre los terrenos Macuchi y Pallatanga, ya que esta es una zona de cizalla dúctil de bajo grado, en donde se encuentran los indicadores cinemáticos (S – C) en milonitas, los cuales indican un movimiento dextral. La dirección de esta zona de cizallamiento dúctil es NNE – SSW, existiendo trazos en donde toma una dirección N – S.

Plegamientos. Los plegamientos se encuentran presentes en los depósitos de la Formación Apagua y en las rocas del Grupo Zumbagua.

- Los ejes de los pliegues, en la formación Apagua, tienen una dirección N – S, NNE – SSW ó NE –SW, estos plegamientos tienen un origen tectónico (Aspden et al., 2000), y posiblemente se formaron durante la acreción de la Formación Macuchi (Bourgeois y Egüez, 1990).
- En el Grupo Zumbagua, los ejes de los pliegues tienen una dirección N – S a NNE – SSW. Este plegamiento es de edad Mioceno Tardío o más joven (Aspden et al., 2000).

3.4.2. Neotectónica.

Estas son estructuras que han empezado a funcionar desde hace 2 Ma atrás hasta el presente. A continuación se describe las fallas de Quimsaloma y Río Salinas.

El último movimiento que habrían registrado este grupo de fallas fue hace 1,6 Ma atrás, con una rata de movimiento anual de 1mm/a (Machete et al., 2003).

Falla de Quimsaloma. Tiene una dirección de trazo de falla SW a NE, esta falla controla el levantamiento de la Cordillera Occidental, tiene un sentido de movimiento inverso,

localmente limita la cuenca de ante – arco con el pie de monte de la Cordillera Occidental (Machette et al., 2003).

Falla Río Salinas. El trazo de falla tiene una dirección NE, aparentemente controla el desarrollo de la cuenca de Guaranda, el último movimiento de esta falla fue hace 1,6 Ma atrás, con una rata de movimiento, probable de 1mm/a (Machete et al., 2003).

3.5. Evolución.

El arco Macuchi fue activo durante el Paleoceno y Eoceno (Hughes y Pilatasig, 2000; Bourgois et al., 1990). La acreción de este arco, fue de forma oblicua (Egüez, comunicación personal, 2004), lo que habría originado la zona de cizalla dúctil Chimbo – Toachi que sería el límite entre el terreno Pallatanga y el terreno Macuchi (Hughes y Pilatasig, 2002). La acreción de Macuchi deformó los depósitos de Apagua y Yunguilla (Bourgois et al., 1990; Aspden et al., 2000). Mientras se acrecionaba el arco Macuchi, en la parte continental se habrían depositado en una cuenca marginal, las rocas del Grupo Angamarca (Bourgois et al., 1990).

A finales del Eoceno, cuando terminaba de funcionar esta cuenca marginal, en la parte sur del continente empezaba a desarrollarse el arco calco - alcalino Saraguro (Hughes y Pilatasig, 2002).

En el límite entre el Eoceno – Oligoceno a Mioceno Medio, se formó un gran arco magmático en el continente (Aspden et al., 2000), el cual se habría extinguido en forma progresiva hacia el Norte. Una evidencia de esto son las edades registradas en los batolitos, que además coinciden con un periodo de intensa actividad tectónica denominada como Fase Quechua (Pardo Casas y Molnar, 1987).

En el Mioceno Medio se creó un ambiente extensional que fue seguido por una compresión regional (Aspden et al., 2000), formándose un arco, del cual se originaron los depósitos volcánicos del Grupo Zumbagua al Norte, y los de Alausí al Sur (Egüez, comunicación personal, 2004).

Capítulo IV.

Geología Local.

4.1. Generalidades.

La geología de Echeandía se desarrolló en un ambiente continental, cuando la acreción del arco de islas Macuchi en el lugar, ya había finalizado en el Eoceno Medio (Hughes y Pilatasig, 2002).

Desde el Mioceno, se desarrolló una actividad magmática en diferentes pulsos, sobre el arco Macuchi ya acrecionado al continente (PRODEMINTA, 2000). Producto de esta actividad magmática, se estableció el batolito de Echeandía. Este batolito fue intruído por varios cuerpos intrusivos subvolcánicos, en diferentes etapas. Estos cuerpos intrusivos subvolcánicos serán denominados más adelante, como Subvolcánicos San Francisco.

A nivel regional comenzó a desarrollarse una proto – Cordillera Occidental y la subsiguiente formación de depósitos coluviales y aluviales cuaternarios, en las estribaciones occidentales de la mencionada cordillera.

4.2. Geomorfología.

En Echeandía se ha podido determinar la existencia de dos unidades geomorfológicas, que se pueden apreciar en la figura 5; estas unidades son:

Unidad Mágica. Esta unidad está formada por un cuerpo intrusivo, que forma dos cadenas montañosas prácticamente paralelas, denominadas: Cordillera de Tierras Blancas (fig. 5), en donde se encuentra ubicado el yacimiento “La Ercilia”, que a la vez, está situada al Norte de la ciudad de Echeandía; y la de Pan de Azúcar, asentada al Sur de la misma ciudad.

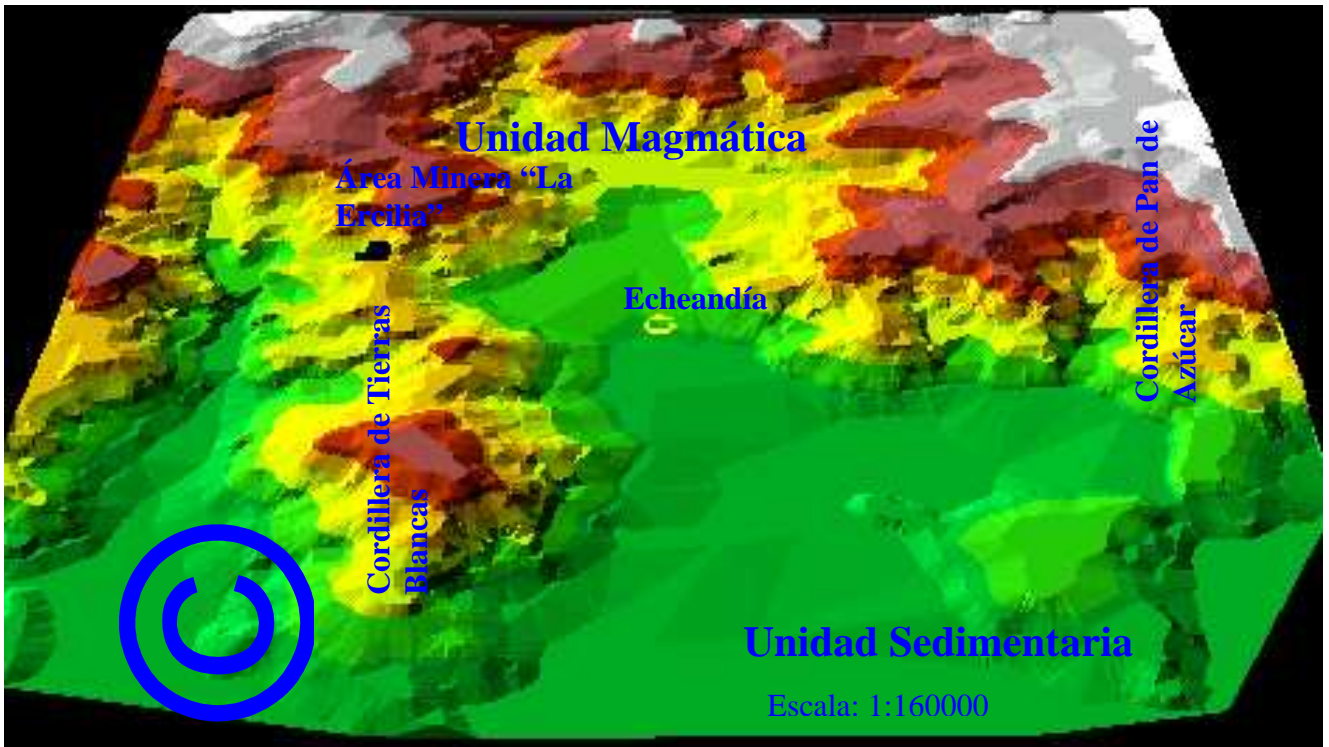


Fig.5. Vista W de la zona de estudio.

Las dos cordilleras poseen formas redondeadas y tienen una dirección aproximada E – W, debido a un aparente control tectónico. Las partes superiores de estas cadenas montañosas se encuentran sometidas a una alta tasa de degradación, debido a un gran intemperismo que sufre el batolito que lo conforma.

El producto formado debido a la alteración de este cuerpo, es un material pelítico, fácilmente deleznable. Este producto de alteración, combinado con las condiciones climáticas reinantes en la zona, ha provocado algunas formas de movimientos de terreno, y estos han contribuido a la morfología actual.

En algunos lugares, la morfología de los determinados valles es en forma de U, lo cual demuestra su antigüedad.

El área minera “La Ercilia”, se encuentra ubicada en la pared de un valle en V, lo que indica que es un valle formado por la erosión fluvial, probablemente cuaternario. Dicha erosión habría sido llevada a cabo por los afluentes de la cuenca del río Soloma.

Unidad Sedimentaria. Esta unidad yace en las partes inferiores de las estribaciones norte y sur de ambas cadenas montañosas y cubren las partes bajas de los valles. Se encuentra compuesta por sedimentos detríticos netamente proximales, mezclados con sedimentos psamíticos y pelíticos.

La parte proximal de esta unidad está constituida por megabloques de granodioritas, basaltos y andesitas. Los sedimentos están compuestos de arenas y arcillas. En algunos lugares la morfología es cortada, debido a la posible presencia de fallas de una dirección aproximada N – S.

En la parte oriental de estos, la potencia y extensión, son de pocos metros, mientras que al occidente la potencia y extensión se van incrementando a algunas decenas de metros.

4.3. Litoestratigrafía.

En la zona que comprende el yacimiento, se encuentran aflorando las siguientes formaciones e intrusivos (Ver mapa 1).

4.3.1. Estratigrafía.

Formación Macuchi (PcEm). En la zona de estudio esta formación se encuentra constituida por lavas basálticas que afloran en el extremo sur de la zona de estudio y de lavas andesíticas en las zonas central y norte de esta zona. En las zonas cercanas a las fallas se han desarrollado brechas de falla, cuyos líticos corresponden a las rocas que componen la Formación Macuchi (Ver mapa 1).

- **Lavas andesíticas.** Son lavas de composición intermedia que forman parte de la Formación Macuchi. Se encuentran aflorando en la parte central y norte del área de estudio alrededor del contacto con la microgranodiorita.

Estas rocas son de color verde claro, textura porfirítica, en donde el 40% de la roca son fenocristales y lo restante es matriz. Los fenocristales son de andesina (28%), piroxeno (12%) (Ver anexo II y III).

La matriz se encuentra totalmente propilitizada (clorita (39%) y epidota (10%)). Como minerales secundarios existen cuarzo (5%) el cual se encuentra rellenando fracturas, pirita (3%) y calcopirita (2%) con trazas de pirrotina y hematita (1%) (Ver anexo II y III).

- **Lavas basálticas.** Son lavas de composición básica que forman parte de la Formación Macuchi, se encuentran aflorando en el extremo sur del área de estudio, en donde nace el río El Tesoro.

Estas lavas tienen un color gris oscuro, tienen textura porfirítica, en donde el 50% son fenocristales, 15% de xenolitos de composición basáltica y 35% restante es matriz. Los fenocristales son de labradorita (10%), piroxenos (40%). La matriz se encuentra propilitizada (clorita (30%) y epidota (4%)). Como minerales traza existen pirita (0,3%) y calcopirita (0,5%) (Ver anexo II).

- **Brechas de falla (Bf).** Se encuentran en los alrededores del trazo más largo de la falla Estero El Guatuzo y se formaron debido al funcionamiento de dicha estructura. Estas brechas se encuentran compuestas por 10% de cristales diseminados en la matriz, 40% de líticos, el 50% restante es la matriz (Ver anexo II, III y mapa 1). Los fenocristales se encuentran compuestos por labradoritas (10%).

La matriz se encuentra totalmente propilitizada (clorita (42%) y epidota (8%)), parte de la epidota es el cemento entre la matriz y los líticos (Ver foto 3).

Mineralógicamente, los líticos se encuentran compuestos por labradorita (30%) y piroxenos (40%) diseminados en una matriz compuesta por vidrio volcánico (30%). Estas brechas también se han formado en las microgranodioritas del batolito de Echeandía.



Foto 3. Al Suroeste del área minera “La Ercilia” (UTM: 692600E; 9846950N). (1) Microgranodiorita, (2) Brecha de falla; la línea roja entrecortada representa el trazo de uno de los ramales de la falla estero “El Guatuzo”.

- **Brechas hidrotermales (Bh).** Se generan debido al fallamiento syn – mineralización, el cual produce una permeabilidad estructural, las fisuras son rellenadas por minerales tales como calcedonia, ópalo (Sillitoe, 1991). Los líticos pertenecen a la roca fragmentada, que en este caso son las lavas de composición andesítica.

Este tipo de rocas afloran al Norte de la cordillera de Tierras Blancas. Son de textura brechosa, de color verde claro. Los líticos son (10%) y tienen una composición andesítica, de textura porfirítica.

Los fenocristales son de andesina (20%) y hornblenda (2%) rodeadas por una matriz (68%) totalmente propilitizada (Ver anexo II, III y mapa 1).

La matriz se encuentra propilitizada (clorita (41%)) y fracturada. Los minerales que se encuentran rellenando las fracturas son: calcedonia (22%), pirita (5%), calcopirita (3%), limonita (2%), hematita (1%). La cuprita (0.2%) es el mineral accesorio.

Arcillas Lateríticas (Lat). Se encuentran aflorando en las estribaciones de la cordillera de Tierras Blancas, así como en el yacimiento. Son el producto de la alteración de las rocas básicas que forman parte de la Formación Macuchi.

Constituyen una capa de 1 a 4m de espesor, que se encuentra sobreyaciendo en forma discordante a las rocas del batolito de Echeandía y los Subvolcánicos San Francisco (Ver mapa 1). Tienen una coloración café parduzca, el tamaño de grano varía desde una arcilla fina hasta una arena fina. Mineralógicamente se encuentran compuestas por minerales del grupo de montmorillonita, caolinita, plagioclasas, feldespatos de potasio, óxidos de Fe y pirolusita.

Los depósitos que se encuentran sobre los Subvolcánicos San Francisco, han sido retrabajados y depositados en el lugar, mediante flujos de masa.

Depósitos Coluviales y Aluviales (Q). Estos depósitos se encuentran yaciendo directamente y en forma discordante, sobre las lavas de la Fm. Macuchi, el batolito de Echeandía y los subvolcánicos San Francisco, en el área de Echeandía, El Tesoro y El Orongo (Ver mapa 1).

Los coluviales están constituidos por megabloques de hasta 2 m de diámetro de lavas basálticas, andesíticas de la Formación Macuchi y rocas de composición granodioríticas y cuarzdioríticas del batolito de Echeandía, mezclados con sedimentos finos provenientes de los depósitos lateríticos y de las arcillas caoliníticas resultantes del intemperismo que ha sufrido el cuerpo albitizado (Ver foto 4).



Foto 4. Al Sur de cordillera de Tierras Blancas (UTM: 692800E; 9849000N) Depósito coluvial, en donde los megabloques aquí presentes, pertenecen a la: (1) Fm. Macuchi, (2) Granodiorita de Echeandía.

4.3.2. Cuerpos Intrusivos y Subvolcánicos.

El cuerpo intrusivo que aflora en la zona es el batolito de Echeandía. Los cuerpos subvolcánicos son denominados como San Francisco.

Batolito de Echeandía (G). Este cuerpo tiene una dirección aproximada E – W y una longitud aproximada de 1 km (Ver mapa 1).

El batolito tiene una composición cuarzdiorítica, posee una coloración blanquecina, estructura maciza, textura fanerítica granuda hipidiomórfica, con cristales de ortoclasa (20%),

oligoclasa 40%, cuarzo (15%), hornblenda (23%) y biotita (2%) como minerales principales, como mineral accesorio existe magnetita (0,5%) (Ver Anexo II y III).

En los bordes del batolito, la composición mineralógica y la textura de la roca cambia, esto se conoce en los intrusivos como facies de borde. Esta facies de borde, en la zona de estudio, tiene una composición microcuarzodiorítica.

La Microcuarzodiorita (MG). Es la facies de borde del batolito de Echeandía. Tiene una coloración blanquecina, su estructura es maciza y textura fanerítica subofítica, con un tamaño de grano de alrededor de 4mm. Mineralógicamente está compuesta por oligoclasas (65%), ortoclasa (9%), cuarzo (10%) y hornblenda (15%) como minerales principales. Clorita (0,5%) y epidota (0,5%) son los minerales de alteración, producto de la descomposición de las oligoclasas y ortoclasas. La magnetita (0,4%) es el mineral accesorio.

Este tipo de rocas cristalizan a una profundidad de 5km (Philpotts, 1989). La edad determinada para este cuerpo es de 26 a 23 Ma (Oligo – Mioceno). Entonces, tomando en cuenta estos datos y asumiendo que la rata de levantamiento ha sido constante, se puede determinar que la rata de levantamiento de esta zona fue de $2 \cdot 10^{-6}$ km/año.

Subvolcánicos San Francisco (D1 – D2). Son diferentes pulsos de cuerpos subvolcánicos que han intruído tanto al batolito de Echeandía como a la Formación Macuchi y estos son: dique propilitizado, dacita (D1), dacita (D2).

Por las dimensiones de los cuerpos, las únicas rocas que constan en el mapa 1 son la dacita (D1) y la dacita (D2).

- **Dique Propilitizado.** Este dique se encuentra ubicado a 30m al Noreste del contacto entre la dacita D2 y la microgranodiorita del batolito de Echeandía. Este dique tiene una potencia de 60 cm en promedio, una dirección N 40° W y un buzamiento de 30° al NE, corta a las lavas de la formación Macuchi y al batolito de Echeandía. La intrusión de este cuerpo, está controlada por la falla Estero El Guatuzo.

La roca tiene una composición dacítica, de color verde claro, estructura maciza, textura porfirítica. Mineralógicamente, está compuesta de fenocristales de hasta 2 cm de diámetro de cuarzo (15%) diseminados en una matriz (85%) íntegramente propilitizada (Ver foto 5).



Foto 5. 30m al NE del contacto entre la dacita D2 y el batolito de Echeandía (UTM: 694350E; 9848200N). (1) Fm. Macuchi, (2) dique dacítico propilitizado, (3) microgranodiorita. Las líneas representan el contacto entre las diferentes unidades rocosas.

- **Dacita (D1).** Esta roca fue la que sufrió el proceso de albitización debido a la acción de los fluidos hidrotermales (Ver mapa 1). Los fluidos hidrotermales que albitizaron a la dacita D1, ascendieron por la misma estructura que facilitó la intrusión de la dacita D2.

La dacita D1, aflora en la parte central del área minera “La Ercilia”, es de color gris, estructura maciza y textura porfirítica. Esta roca se encuentra altamente diaclasada, en profundidad la densidad de diaclasamiento es de 40 diaclasas/m^2 , en la parte superior la densidad de diaclasamiento es de 6 diaclasas/m^2 .

Mineralógicamente se encuentra compuesta de fenocristales de oligoclasa (20%) y cuarzo (10%) rodeados por microlitos de la matriz. La matriz se encuentra formada por plagioclasas (57%) (andesinas? y oligoclasas?) y albitas (9%), en sus fracturas se encuentra depositada calcedonia (2%). Óxidos de Fe y Mn (1%) se encuentran depositados en las paredes de las fracturas (Ver anexo II y III).

Los fluidos hidrotermales que produjeron la albitización fueron conducidos por las fracturas. El proceso albitizador fue intenso en las partes mas cercanas a estas fracturas que en las partes mas lejanas a las mismas, lo que provoco que queden partes de la roca madre presentes en la mina (Ver Anexo VIII).

- **Dacita (D2).** Este cuerpo aflora al Noreste y al Oeste del área minera, se encuentra en contacto vertical con las rocas del batolito de Echeandía (ver foto 6) y es sobreyacido por la dacita D1. Tiene una forma de embudo (Ver mapa 1).

Esta es una roca de color gris, estructura maciza. Posee un diaclasamiento tectónico. La textura y la composición mineralógica que tiene de la dacita (D2) son similares a las que posee la dacita (D1). Los fenocristales son de oligoclasa (24%) y cuarzo (7%), rodeados por una matriz que está compuesta por plagioclasas (66%) (andesinas? y oligoclasas?), con pirita (3%) como mineral secundario. La matriz se encuentra en proceso de argilización debido al intemperismo que reina en la zona, por lo cual existe huellas de desprendimiento de minerales.

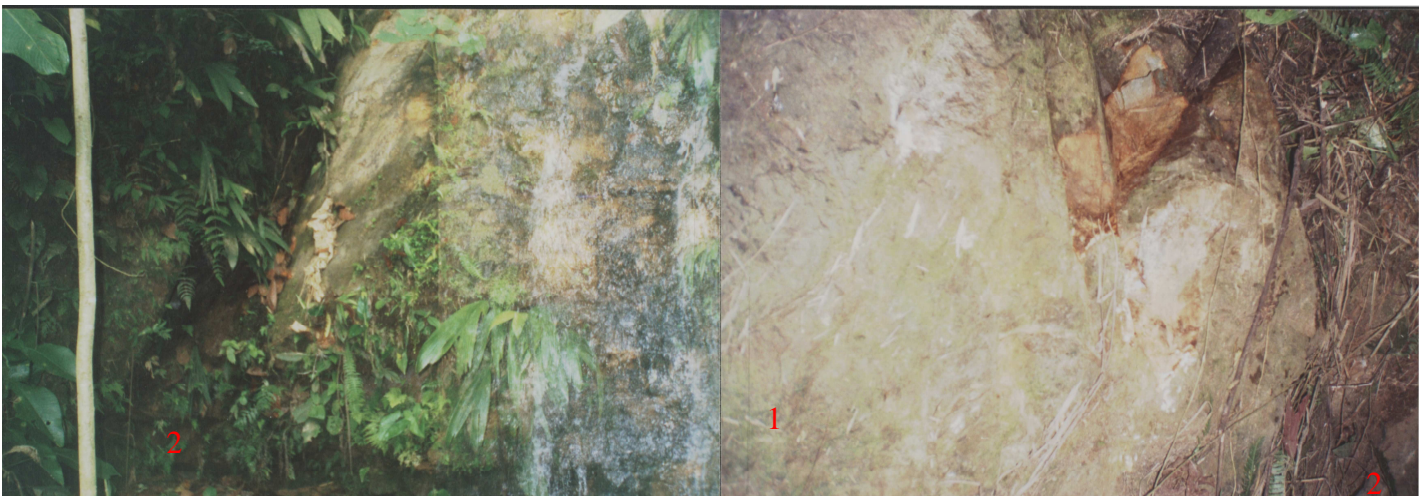


Foto 6. Noreste del área minera “La Ercilia” (UTM: 694180E; 9848140N). Contacto entre la dacita D2 (1) y la cuarzodiorita del batolito de Echeandía (2).

La diferencia entre las dacitas D1 y D2 radica en que la albita de D1 es el resultado del proceso gradual de albitización, y el fracturamiento de ésta es el resultado del paso de los fluidos hidrotermales que causaron dicha alteración (Tittley et al., 1986). Mientras que la dacita D2 se encuentra silicificada, argilizada, parcialmente propilitizada y el fracturamiento

de ésta es el resultado de la actividad tectónica existente en la zona. El grado de diaclasamiento de esta roca es mucho menor al que posee la dacita D1, cuya densidad es de $4 \text{ diaclasas} / \text{m}^2$.

La profundidad de generación de este tipo de cuerpos intrusivos subvolcánicos, es de 200 a 300 m (Maksaev, 2001) y tomando en cuenta la rata de levantamiento calculada para el batolito de Echeandía, se deduce que la edad de esta intrusión es 1,8 a 1,5 Ma, es decir, Plio - Cuaternario.

4.3.3 Volcanismo.

El volcanismo que se encuentra en la zona de estudio, está marcado por la presencia de dos tipos de rocas continentales efusivas. Estas rocas son: tobas de composición andesítica y diques de obsidiana que han sido montmorillonitizados. La edad de estos cuerpos volcánicos es cuaternaria y ha sido determinada mediante la determinación de las relaciones de campo (Ver mapa 1).

Tobas Andesíticas (Ta). Estas rocas se encuentran aflorando en la parte suroeste del área de estudio, tienen la forma de un manto de 2 a 3,5m de potencia (Ver mapa 1). Es un material deleznable, de color verde y de textura porfírica. Se encuentra formado por un 20% de plagioclasas diseminadas en una matriz vítrea (30%). Esta matriz se encuentra en proceso de devitrificación, por lo cual contiene un (50%) de arcillas montmorilloníticas como minerales de alteración (Ver anexo II). La edad determinada mediante relaciones de campo para estas rocas, es Cuaternario.

Diques de Obsidiana. Estos diques afloran en la parte central de la mina (Ver foto 7). Tienen una dirección E – W, su potencia es uniforme de 2m. Están intruyendo al cuerpo albitizado.



Foto 7. Parte superior de la mina “La Ercilia” (UTM: 693338E; 9847745N). Dique de obsidiana se encuentra completamente montmorillonitizado.

Estos diques tienen una estructura deleznable, textura pelítica, de color verde. Mineralógicamente se encuentran compuestos por arcillas montmorilloníticas, vidrio volcánico en forma de esferulitas, clorita, epidota (Ver anexo III y IV).

La intrusión de estos diques ha sido facilitada por la misma zona de debilidad que ayudó a la intrusión de la dacita D2 y la circulación de los fluidos hidrotermales que albitizaron a la dacita D1.

4.3.4. Zonas Alteradas.

Las zonas alteradas presentes en el área de estudio, son (Ver mapa1):

Cuerpo Albitizado (Ab). Las dimensiones que este cuerpo posee son: 30m de espesor aproximado, 2500m de largo y 1500m de ancho, con una dirección E – W. El contacto con el cuerpo argilizado es transicional, al igual que con el pulso dacítico (D2) (Subvolcánicos San Francisco) (Ver foto 8).



Foto 8. Muestra de mano de la parte central del área minera “La Ercilia”. (UTM: 693250E; 9847550N). Contacto transicional entre la dacita y el cuerpo albitizado.

La densidad de fracturamiento de este cuerpo varía, desde sus partes más profundas, en donde tiene una densidad de fracturamiento de alrededor de 40 diaclasas/m^2 , mientras que en sus partes más someras tiene una densidad de 6 diaclasas/m^2 . Estructuralmente varía desde el E, en donde posee una estructura maciza, hasta el W en donde tiene una estructura de una grava arcillosa (Ver mapa 1).

Las plagioclasas que forman parte de la composición mineralógica de la dacita (D1), fueron albitizadas por la acción de los fluidos hidrotermales que ascendieron por las mismas fracturas por donde intruyó la dacita (D2).

La albitización es un proceso metasomático sódico en donde se reemplaza el calcio de las plagioclasas por el sodio del fluido hidrotermal (Townley, en impresión), a un rango de temperatura de 150° a 300°C (Hedenquist y Lowerstein, 1994), sincrónicamente con el proceso de propilitización (Sillitoe, 2000).

La condición fundamental para que se forme la albita de un fluido hidrotermal, es que el fluido hidrotermal tenga una alta relación de a_{Na}^+ / a_K^+ , en donde a es la actividad de un elemento en un sitio catiónico (Corbett y Leach, 1998).

La roca tiene una textura porfirítica, es de color blanco. Mineralógicamente se encuentra compuesta por: albita (74%), cuarzo (6%), pirofilita (3%), clorita (1%), epidota (1%), pirita (3%), calcopirita (1%), óxidos de Fe (1%), óxidos de Mn (1%), arcilla (7%), calcedonia (2%) en promedio (Ver anexos II y III).

Los minerales arcillosos aparecen en las zonas periféricas del cuerpo, hasta el punto de cambiar su estructura a una grava arcillosa.

Cuerpo Argilizado (Arg). Este cuerpo aflora en la parte más occidental de la cordillera de Tierras Blancas, y en partes puntuales en la mencionada área minera. Las dimensiones que tiene este cuerpo son: 20m de espesor, 1500 de ancho y 1300 de largo, aproximadamente, la dirección de este cuerpo es E - W. El contacto con el cuerpo argilizado es transicional, mientras que el contacto con la Formación Macuchi es bien definido y completamente horizontal (Ver mapa 1). El contacto con las arcillas lateríticas es discordante.

Este cuerpo se ha formado por la argilización de las dacitas D1 y D2, del cuerpo albitizado, cuerpo propilitizado y la devitrificación de la obsidiana. La argilización de estas rocas es el producto del intemperismo reinante en la zona.

Como resultado de la argilización las dacitas D1 y D2 se encuentran transformándose en arcillas halófanos (Flor, comunicación personal, 2007), el cuerpo albitizado – en minerales

del grupo de caolinita, el cuerpo propilitizado en minerales del grupo de montmorillonita y de illita, y la obsidiana en minerales del grupo de montmorillonita.

El tamaño de grano de este cuerpo varía de E a W, de tal manera que en la parte este del depósito el tamaño de grano es de una arena arcillosa. Esta arena es mal sorteada, mineralógicamente se encuentra compuesta por albitas (45%) que es el mineral que tiene el tamaño de arena gruesa, cloritas (2%), epidotas (1%), que son minerales que tienen el tamaño de limo, minerales del grupo de caolinita, montmorillonita, sericita, esmectita, illita y pirofilita, entre todos estos minerales suman 52% (Ver anexo III y IV).

En la parte W del depósito se encuentran minerales del grupo de caolinita, montmorillonita e illita, así como también pirolusita impregnada en las paredes de las fracturas, en donde el cuerpo argilítico es más compacto.

Zona Silicificada (ZS). Esta zona se encuentra en la zona central del área minera “La Ercilia”, afecta principalmente al cuerpo albitizado. La parte del cuerpo albitizado se ha convertido en una masa silíceo (Ver mapa 1).

La silicificación del cuerpo albitizado sucedió bajo condiciones ácidas, a un pH del fluido menor a 2 (Corbett y Leach, 1998), en donde existió una lixiviación de los cationes de la roca excepto los cationes de sílice.

Además, en esta zona existe una gran densidad de diaclasamiento, 40 diaclasas/m², y en las fracturas se puede observar precipitación de calcedonia. La precipitación de la calcedonia indica que en este sistema existe una sobresaturación de sílice lo que dio como resultado el desarrollo de vetas de calcedonia, en la zona en donde se el cuerpo albitizado se encuentra albitizado (Corbett y Leach, 1998).

4.4. Estructuras

Las principales estructuras que se encuentran en la zona de estudio son la falla “Estero El Guatuzo” y el lineamiento E –W (Ver mapa 1).

Lineamiento E – W. Este lineamiento tiene una dirección E – W, su existencia es evidenciada por la dirección que tienen las dacitas D1 – D2 de los Subvolcánicos San Francisco.

Falla Estero el Guatuzo. Esta falla corta todas las litologías anteriormente descritas, tiene una dirección NW – SE, presenta un movimiento transcurrente sinistral, evidenciado en la foto 9, en donde se puede apreciar el desplazamiento relativo de las montañas.



Foto 9. Vista Sur de la falla “Estero el Guatuzo”, las líneas rojas representan el trazo de falla, las flechas la cinemática de la misma.

Esta estructura tiene una terminación en cola de caballo, que empieza a ramificarse en la población conocida como el Congreso, 2km. al Norte del yacimiento. Algunos de estos ramales tienen direcciones que van desde N – S a NNE – SSW, cortan el yacimiento y se extienden hasta las inmediaciones de la ciudad de Echeandía.

Esta estructura controla el levantamiento de las rocas que constituyen el yacimiento y la intrusión de los diques propilitizados.

En la foto 10, se muestra el plano de falla de uno de los ramales de la falla Estero El Guatuzo, que se encuentra en este megabloque. En la parte superior derecha de la foto se encuentra el verdadero plano de falla, el cual es inaccesible.



Foto 10. Extremo sur del ramal más grande de la falla (UTM: 692600E; 9846300N). El auténtico plano de falla se encuentra en la parte posterior de este megabloque, en la parte superior derecha de esta foto. Las líneas rojas representan las estrías.

La litoestratigrafía de la zona se puede observar en la siguiente columna litológica (Ver figura 6):

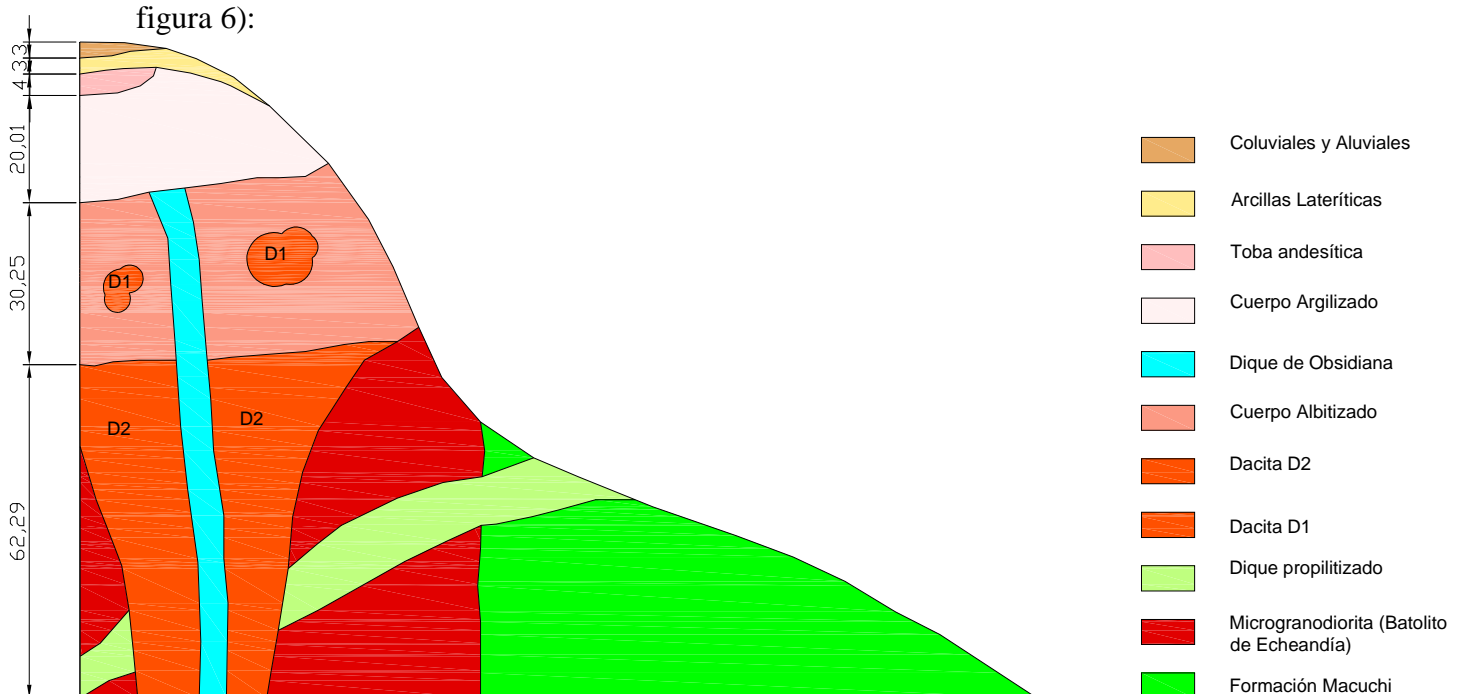


Fig. 6. Columna estratigráfica general de la zona de estudio. Sin escala horizontal. Escala vertical en metros.

4.5. Evolución Geodinámica de la zona de estudio.

El arco de islas Macuchi, que es el basamento, empieza a acrecionarse al continente en forma oblicua, hace $39 \pm 0,5$ Ma (Hughes y Pilatasig, 2002). Desde los 26 a 23Ma (Aspden et al., 2000) cristalizó el batolito de Echeandía, cuando el arco de islas ya estaba completamente acrecionado al continente. La intrusión de este cuerpo fue controlada por la presencia de la falla Estero El Guatuzo y el lineamiento asociado a esta falla.

La cinemática de la falla Estero “El Guatuzo”, creó una zona de debilidad de una orientación E-W aproximadamente, evidenciada por el lineamiento que tiene la facies de borde del batolito de Echeandía. Es por esta zona, en donde se facilitó la intrusión de dicho batolito.

Además de crear la zona de debilidad, dió paso a la formación de brechas de falla en la Formación Macuchi y el batolito de Echeandía.

La intrusión de los cuerpos subvolcánicos San Francisco también fue controlada por esta zona de debilidad, esto en el Plio – Cuaternario. El primer cuerpo subvolcánico en intruir al Batolito de Echeandía y la Formación Macuchi, fue el dique propilitizado.

El segundo cuerpo subvolcánico en intruir es la dacita D1, la cual tiene la forma de un lacolito. La dacita D2 intruye al batolito de Echeandía y al dique propilitizado, pero solo llega a subyacer a la dacita D1. Las fracturas por donde intruyó la dacita D2, fueron el conducto por donde ascendieron los fluidos hidrotermales que alteraron a la dacita D1. Como resultado de esta alteración hidrotermal, se formó el cuerpo albitizado.

Las dacitas D1 y D2 posiblemente sean los equivalentes subvolcánicos de un pórfido cuprífero reportado a 600m al Norte de la cordillera de Tierras Blancas (Naranjo, comunicación personal, 2007).

Este evento hidrotermal registrado al Norte del área minera “La Ercilia”, originó las brechas hidrotermales, en este sector.

Después del cese del evento hidrotermal, las dacitas D1, D2, el cuerpo albitizado y propilitizado son intruídos por el dique de obsidiana. Esta obsidiana posiblemente, sea contemporánea con la toba andesítica que aflora al Suroeste del área de estudio.

El cuerpo albitizado y la obsidiana, se argilizan debido al intemperismo existente en la zona. Seguidamente se registra otra actividad hidrotermal, la cual silicificó parte de la dacita D1 y del cuerpo albitizado.

Posteriormente, hubo un proceso de erosión y depositación de las arcillas lateríticas por flujos de masa, esto es evidenciado por el contacto erosivo. Finalmente, se registra la caída de coluviales y aluviales.

Capítulo V.

Geología del Yacimiento.

5.1. Generalidades.

El yacimiento está compuesto por cuerpos subvolcánicos, denominados anteriormente como San Francisco, que han sido hidrotermalmente alterados. Así como también, en parte por la microgranodiorita del batolito de Echeandía.

Los cuerpos hidrotermalmente alterados, se encuentran en proceso de argilización debido al intemperismo reinante en toda la zona, dando lugar a la formación de arcillas montmorilloníticas y caoliníticas.

Estos depósitos se encuentran diseminados por los alrededores del cantón Echeandía, siendo de formas y dimensiones variables.

El yacimiento “La Ercilia” es explotado por bancos. Los bancos 1 y 3 tienen 9 y 21m de altura respectivamente, el material que se obtiene de estos es albita. Del banco 2, 4 y 5, que tiene 15m de altura, se obtiene caolín (Ver fig. 7).

Los materiales estériles son las arcillas montmorilloníticas, las dacitas D1 y D2, los diques montmorillonitizados, las rocas propilitizadas, arcillas ferruginosas, arcillas halófanas y partes del cuerpo albitizado en donde se han acumulado óxidos de Fe y/o Mn. La sobrecarga esta compuesta por las arcillas lateríticas y el material orgánico.

La extracción del material del yacimiento, se la realiza en la época de verano, mediante la utilización de una excavadora en las partes en donde el material es suelto, y con la realización de voladuras, en aquellos lugares del yacimiento en donde el material es compacto y difícil de romper mecánicamente.

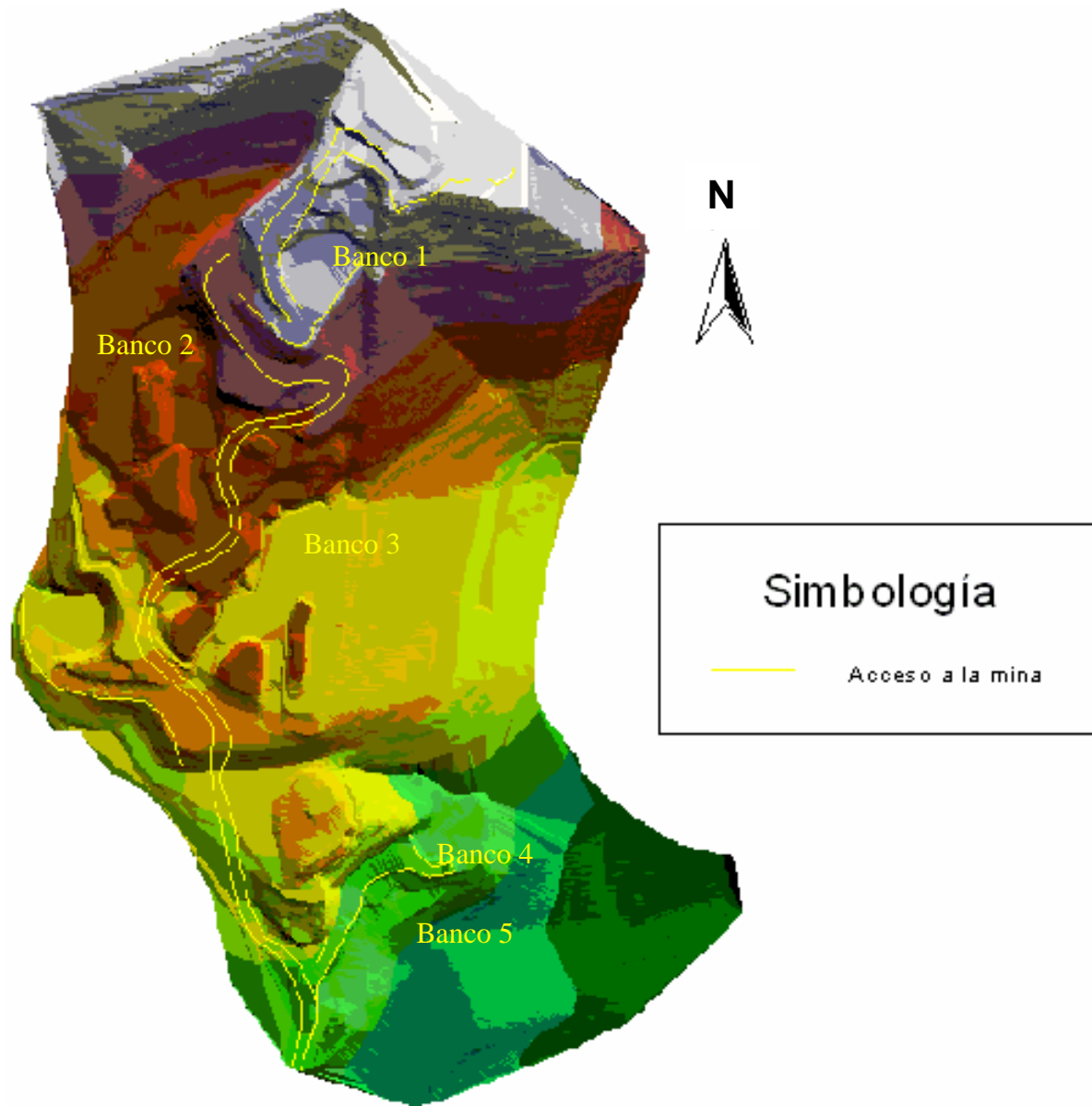


Fig. 7. Relieve del Área Minera “La Ercilia”.

5.2. Labores de Exploración del Yacimiento.

Las labores de exploración que se realizaron en el yacimiento, son: 21 sondeos eléctricos verticales, 32 perforaciones mecánicas a diamantina, 20 perforaciones manuales con el equipo auger y 66 canaletas. La ubicación de todas estas labores, se encuentran en el mapa 2.

5.2.1. Exploración Geofísica Mediante Sondeos Eléctricos Verticales.

En julio del 2004, se realizó la exploración geofísica, efectuando 21 Sondeos Eléctricos Verticales (Ver mapa 2), para lo cual, se utilizó el dispositivo Schlumberger. La profundidad de investigación que se alcanzó con este método fue de 30m.

Los resultados obtenidos con este método no fueron satisfactorios, motivo por el cual, no han sido tomados en cuenta para la realización de este trabajo.

5.2.2. Perforaciones Manuales, con la herramienta Auger.

Se realizaron 20 perforaciones con el equipo Auger. Estas perforaciones alcanzaron una profundidad máxima de 12m, con marchas de 30cm. (Ver mapa 2, anexo IB, foto 11).



Foto 11. Pozo manual 1 (UTM: 693356E; 9847355n). Realización de una perforación manual, con el equipo Auger.

5.2.3. Perforaciones a roto-percusión, con diamantina.

En el caso de la mina “La Ercilia”, se realizaron 32 perforaciones de este tipo con recuperación de testigo. El porcentaje de recuperación del testigo en cada perforación varía desde el 75 al 90%. El testigo tiene un diámetro de 4 pulgadas. Las perforaciones alcanzaron profundidades que varían desde 5 a 30m. (Ver mapa 2, anexo IA, foto 12).



Foto 12. Pozo 27 (UTM: 693200E, 9847700N). Realización de una perforación a roto - percusión, con diamantina.

5.2.4. Canaletas.

En la mina se realizó alrededor de 66 canaletas, el espaciamiento entre estas fue de 4m. Las dimensiones de las canaletas son: 0.8m de ancho, 5m de profundidad y una longitud que varía desde 4 a 15m. (Ver mapa 2, anexo IC, foto 13).



Foto 13. Canaletas 60 – 66 (UTM: 693316E; 9847504N). En esta foto se puede observar algunas de las canaletas que se realizaron en la mina.

5.3. Configuración del Yacimiento.

La configuración del yacimiento “La Ercilia” fue determinada mediante el análisis de los resultados de las labores de exploración descritas anteriormente, y el levantamiento geológico del yacimiento.

El yacimiento está constituido por diferentes cuerpos intrusivos y subvolcánicos, que han sido hidrotermalmente alterados. Posteriormente, por la acción del intemperismo, el cuerpo albitizado sufrió argilización.

5.3.1. Cuerpos Intrusivos y Subvolcánicos.

El cuerpo subvolcánico que conforma el yacimiento es la dacita (D1).

Dacita (D1). Es la roca madre del yacimiento. Se encuentra aflorando en la parte central de la concesión minera y está en contacto transicional con el cuerpo albitizado (Ver mapa 2).

Se presenta como una roca de color gris, textura porfirítica, compuesta por fenocristales de albita (25%) y cuarzo (10%) diseminados en una matriz microcristalina que presenta una incipiente recristalización de albita (9%). Además de esto la matriz está compuesta por plagioclasas (45%) (andesina? y oligoclasa?), como minerales principales.

Los minerales de alteración son clorita (1%), óxidos de Fe (2%), óxidos de Mn (2%) y arcillas alófanas (6%) que se encuentran presentes exclusivamente en la matriz.

A 10m de profundidad, este cuerpo yace en la parte central de la mina en contacto transicional con el cuerpo albitizado y la zona de acumulación de óxidos (Ver mapa 3). El grado de alteración de la roca disminuye con la profundidad. La dacita esta compuesta por fenocristales de albita (29%), cuarzo (8%) y hornblenda (2%) diseminados en una matriz microcristalina. La matriz está compuesta por plagioclasas (50%) (andesina? y oligoclasa?) (Ver anexo III y IV).

Los minerales de alteración son clorita (2%), epidota (3%), óxidos de Fe (4%) y óxidos de Mn (3%), presentes en las paredes de las fracturas de la roca.

5.3.2. Zonas Alteradas.

Las principales zonas alteradas son: cuerpo albitizado, cuerpo propilitizado, el cuerpo argilizado y la zona silicificada (Ver mapa 2).

Cuerpo albitizado (Ab). Este cuerpo se originó por la alteración hidrotermal de la dacita D1, los fluidos hidrotermales que alteraron a esta roca, fueron conducidos por las mismas fracturas que controlaron la intrusión de la dacita D2 (Ver mapa 2).

En el yacimiento, la albitización es pervasiva y se encuentra afectando básicamente a los microlitos que conforman la matriz de la dacita D1. Las rocas son blanquecinas, macizas de textura porfirítica en donde los fenocristales son albitas (25%) y cuarzo (5%) en promedio (Ver anexo III y mapa 2).

La matriz es producto de la recristalización de la albita, debido a la acción de los fluidos hidrotermales; se encuentra mineralógicamente compuesta por albita (52%) como mineral principal (Ver anexo III).

Los minerales de alteración típicos en este cuerpo son: las cloritas (aproximadamente en 1%), pirofilita (1%), epidota (alrededor de 1%), y minerales arcillosos en un (7%), sericita (2%), presentes generalmente en la matriz.

Los óxidos que se encuentran en la roca son: la pirolusita en promedio del 1%, óxidos de Fe (1%) (hematita?). El sulfuro que existe en la roca es la pirita en un 1%. La calcedonia (3%) se encuentra relleno de las fracturas existentes en la roca.

En la parte Noroccidental y Nororiental de la mina, este cuerpo se encuentra sobreyacido por un manto de caolín, con el cual se encuentra en contacto transicional (Ver mapa 2, Ver anexo VIII).

En la parte central de la mina el cuerpo tiene una mayor potencia y se encuentra en contacto transicional con la dacita D2, el cuerpo caolinizado y las gravas arcillosas albitizadas, y subyacido puntualmente por estos 2 últimos cuerpos (Ver anexo VIII).

En la parte Sur de la mina, el cuerpo albitizado, tiene menor potencia. Esto es debido al control estructural que ejerce el contacto entre la dacita (D2) y la microgranodiorita, sobre la albitización de la dacita D1 (Ver mapa 2).

También se ha determinado la presencia de algunos megaxenolitos de la formación Macuchi (Ver foto 14), los cuales se encuentran altamente argilizados, tienen un color verde, son de textura pelítica, deleznales.



Foto 14. Parte sureste del banco de explotación 2 (UTM: 693305E; 9847485N). Xenolito de la formación Macuchi en el Área Minera “La Ercilia”. En el extremo derecho de la foto se puede apreciar la propilitización que sufre el cuerpo albitizado.

A 10m de profundidad, la extensión del cuerpo albitizado disminuye en el Norte y el Sur de la mina, (Ver mapa 3). En la parte central, el cuerpo también disminuye en sus dimensiones en relación a las dimensiones en la superficie, pero es el más grande a esta profundidad. Mientras que la dacita D1 se mantiene casi constante en su tamaño. El contacto con la dacita D1 es transicional (Ver anexo VIII).

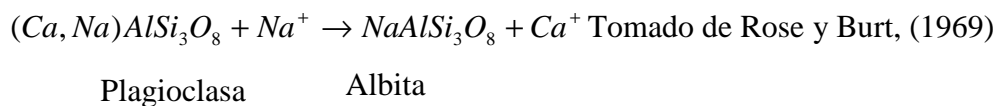
A esta profundidad, la mineralogía del cuerpo albitizado esta compuesta por fenocristales de albita (25%) y cuarzo (8%) en promedio. En la matriz existe albita (55%), producto de la recristalización, debido a la alteración hidrotermal, pirofilita (1%) como minerales principales.

Los minerales de alteración son óxidos de Fe (1,2%), minerales arcillosos (6%), epidota (1%) y clorita (1%), todos estos se encuentran alojados en la matriz.

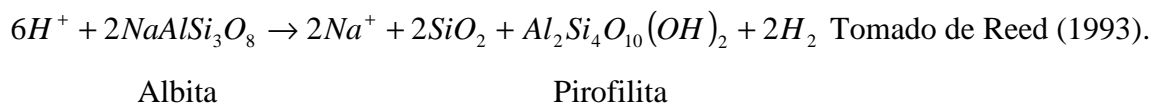
Calcedonia (1%), pirolusita (0,5%), pirita (0,3%) se encuentran alojados en las paredes de las fracturas de la roca.

La albitización ocurre cuando los fluidos hidrotermales tienen una alta relación a_{Na^+}/a_{K^+} , se origina por metasomatismo sódico en rocas graníticas o alcalinas, en donde los fluidos reemplazan selectivamente las plagioclasas junto con actinolita, en un rango de temperatura que varía desde 150 a 300°C, (Sillitoe, 2000; Townley, en impresión) a condiciones de pH neutro, alta presión (Corbett y Leach, 1998), y se encuentra asociado con alteración propilítica de alta temperatura (Townley, en impresión).

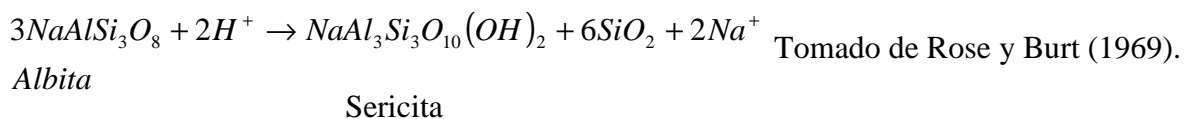
En las condiciones termodinámicas anteriormente descritas, la reacción entre las plagioclasas constituyentes de la dacita D1 y los fluidos que provocaron la albitización es:



La pirofilita se originó mediante la siguiente reacción:



La sericita se formó de la siguiente manera:



De lo anterior se deduce que todos estos minerales tienen un origen hidrotermal, y son paragénesis típicas de albitización.

- **Cuerpo albitizado rico en óxidos (Abo).** Este tipo de depósito es puntual y esta presente en la parte central de la mina.

Estos depósitos se forman por la gran acumulación de óxidos de Fe y de Mn, debido al cambio de porosidad secundaria en el cuerpo albitizado. Es decir, son zonas en donde la concentración de óxidos de Fe y de Mn son de alrededor de 10% y 12%, respectivamente, debido al cambio en la densidad de diaclasamiento de la roca (Ver mapa 2).

En profundidad este depósitos se presentan como pequeños lentes que se encuentran bajo el pozo 20, y tiene 3m de profundidad (Ver anexo VIII).

A 10m de profundidad, la extensión, textura y composición mineralógica del cuerpo se mantienen constantes (Ver mapa 3). La roca es de color rojizo, compacto, de textura porfirítica. Mineralógicamente está compuesta por fenocristales de albita (25%), cuarzo (6%) diseminados en una matriz microcristalina.

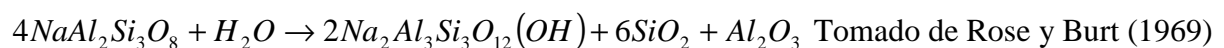
La composición mineralógica de la matriz es: plagioclasa (32%) (andesina?, oligoclasa?) como minerales principales; pirofilita (2%), minerales arcillosos (10%) como minerales de alteración; pirita (1%) como mineral accesorio.

Los óxidos son pirolusita (10%) y óxidos de Fe (8%) (hematita?) que son producto de la alteración de los minerales que contienen Fe como las cloritas, epidotas y pirita, y se encuentran impregnados en las paredes de las fracturas.

Cuerpo propilitizado. En el yacimiento, esta zona tiene un espesor de alrededor de 2m, en donde se encuentran rocas totalmente propilitizadas, por lo cual se les ha denominado como propilitas.

Estas rocas son de color verde, de textura porfirítica. Mineralógicamente se encuentran compuestas por fenocristales de albita (10%) y cuarzo (4%), la matriz está formada por clorita (72%) como minerales principales. Los minerales secundarios son óxidos de Fe (5%), óxidos de Mn (7%), pirita (6%) e illitas (3%) en promedio (Ver anexo IV).

La propilitización se genera al mismo tiempo que ocurre la albitización de las rocas, es decir que este tipo de alteración se produce a la misma profundidad y simultáneamente con los procesos de albitización, y es generada por soluciones casi neutras en un rango variable de temperaturas (Sillitoe, 2000; Townley, en impresión) que van desde 100 a 400°C (Hedenquist et al., 1998). Bajo estas condiciones, la epidota se formó de la siguiente manera:



Albita

Epidota

La paragénesis característica de la propilitización es clorita – epidota con o sin albita, calcita, pirita, con minerales accesorios como cuarzo – magnetita – illita (Townley, en impresión).

Cuerpo Argilizado. Este cuerpo se encuentra en proceso de formación. Mediante el trabajo de campo se ha podido determinar los tres estadios de formación del cuerpo argilizado, denominados: estadio inicial de la formación de las arcillas ó estadio E1, estadio medio de

formación de la arcilla ó estadio E2 y el estadio final de la formación de las arcillas ó estadio E3 (Ver foto 15).

- **Estadio inicial de la formación de las arcillas ó Estadio E1.** Este es el estadio inicial de la argilización, en donde se encuentra una incipiente formación de los minerales del grupo de la caolinita, montmorillonita e illita.

Las rocas que se encuentran presentes en este estadio de formación, en el caso del caolín, son rocas blancas macizas de textura porfírica. Los fenocristales son albita (16%) y cuarzo (4%) (Ver anexo III).

La matriz se encuentra albitizada, los minerales principales son albita (68%) y pirofilita (2%). Las albitas están parcialmente argilizadas (3% de minerales arcillosos), los fenocristales de albita se encuentran alterados a clorita (1%), epidota (1%) y óxidos de Fe (1%).

La calcedonia (2%) se encuentra rellenando algunas fracturas, mientras que la pirolusita (1%) se encuentra impregnada en paredes de las fracturas (Ver anexo III).

En este estadio también se encuentran presentes rocas de color verde, macizas, textura porfírica. Los fenocristales son albita (13%) y cuarzo (4%). Las arcillas que se encuentran en este tipo de rocas son las illitas y las montmorillonitas (Ver anexo III).

La matriz se encuentra altamente propilitizada plagioclasas (albita, oligoclasa y andesina) en un 40%. Epidota (15%), clorita (13%), minerales arcillosos (5%) y óxidos de Fe (6%) como minerales de alteración (Ver anexo III).



Foto 15. Parte este del banco 2 (UTM: 693338E; 9847496N). En esta foto se puede observar la ubicación de los tres estadios de la argilización. Estos estados han sido denominados como: E1, E2 y E3.

- **Estadio medio de la formación de las arcillas ó Estadio 2.** Este es un estadio medio de la formación de las arcillas, el tamaño de grano varía desde una grava gruesa hasta una arcilla, y se encuentran diseminados, como pequeños lentes en toda la mina (Ver mapa 2). Yacen directamente sobre el cuerpo albitizado y sobre la dacita D1.

En este estadio se puede observar dos tipos de roca madre (Ver foto 16); la una es la dacita D1, los productos que de esta roca se han derivado, se han denominado como gravas arcillosas dacíticas (Gd), y la otra es el cuerpo albitizado, cuyos productos se han denominado como gravas arcillosas albitizadas (Gda).



Foto 16. Pared oeste del banco 2 (UTM: 693263E; 9847600N). A la izquierda se encuentran gravas albitizadas, en el medio una zona propilitizada, y en la parte derecha gravas dacíticas.

- **Gravas arcillosas dacíticas (Gd).** Estos depósitos son el producto de la alteración por intemperismo de la dacita D1. Afloran en la parte central de la mina y yacen directamente sobre el cuerpo albitizado en contacto transicional (Ver mapa 2, Ver anexo VIII).

Son rocas de color gris claro, deleznable. La composición mineralógica de este depósito es: andesina (50%), clorita (3%), epidota (1%), minerales arcillosos (30%), óxidos de Fe (1%) en promedio (Ver anexo III). Las arcillas que se encuentran en este depósito son alófanas (Espinoza, comunicación personal, 2007).

A 10m de profundidad existe solo un lente de este tipo de roca, se encuentra yaciendo directamente sobre el cuerpo albitizado y en contacto discordante con el dique de obsidiana montmorillonitizado. Su mineralogía y textura permanecen constantes (Ver mapa 3), bajo el pozo 11, en donde tiene una potencia de 10m (Ver anexo IA).

- **Gravas arcillosas albitizadas (Gda).** Estos depósitos son el producto de la alteración por intemperismo del cuerpo albitizado. Tienen forma de pequeños lentes de una potencia de 5m aproximadamente (Ver anexo VIII), se encuentran diseminados en la parte central de la mina, y yacen directamente sobre el cuerpo albitizado, en contacto transicional (Ver mapa 2).

Son rocas de color blanco, deleznable. Mineralógicamente se encuentran compuestos por albita (30%), andesina (5%), minerales arcillosos (41%), óxidos de Fe (2%), cuarzo (4%), calcedonia (3%), clorita (3%) y epidota (1%) en promedio. Las arcillas que se han formado este depósito son halloisita y caolinita (Ver anexo IV). Estos depósitos son superficiales.

- **Estadio final de la formación de las arcillas ó Estadio E3.** En el yacimiento este estadio se encuentra formado por el cuerpo caolinizado, arcillas ferruginosas y los diques de obsidiana montmorillonitizados.

- **Cuerpo caolinizado (K).** Los depósitos más extensos y potentes, que afloran en la parte Noroccidental, Nororiental y Sur de la mina. En la parte central de la mina están presentes en forma de pequeños lentes, diseminados sobre el cuerpo albitizado y tienen una potencia de 4m promedio (Ver mapa 2).

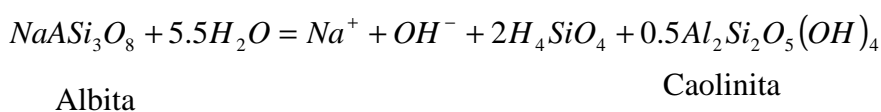
En la parte Noroccidental y Nororiental de la mina, este cuerpo es continuo y tiene una potencia de 15m en promedio, sobreyace al cuerpo albitizado en forma transicional y es subyacido por una capa de material orgánico de 1m de espesor promedio. En la parte Sur de la mina se presenta como un manto continuo, de 15m de potencia (Ver anexo VIII).

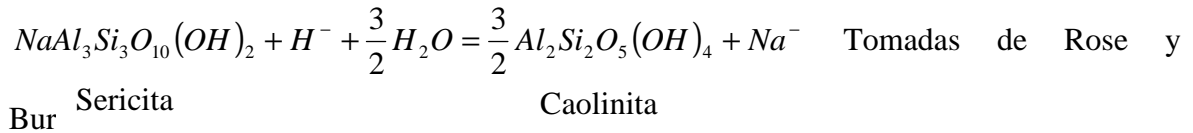
Estas son arcillas semicompactas, de color blanco. Mineralógicamente se encuentran compuestos por: albita (25%), cuarzo (8%), minerales arcillosos (60%), óxidos de Fe (3%).

La composición mineralógica de las arcillas es esmectita, caolinita y halloisita (Ver anexo IV).

A 10m de profundidad, los depósitos más potentes y extensos se encuentran en la parte noroccidental de la mina. En la parte nororiental su potencia va disminuyendo, al igual que en la parte sur, mientras que en la parte central desaparece totalmente. A esta profundidad la composición mineralógica de este cuerpo permanece constante. (Ver mapa 3).

La roca madre del cuerpo caolinizado es el cuerpo albitizado. Las albitas del cuerpo albitizado se alteraron por intemperismo a arcillas. Las reacciones químicas que sucedieron en estos procesos, fueron las siguientes:





- **Arcillas Ferruginosas (Ko).** Afloran puntualmente en la parte central de la mina, en forma de un lente de 4m de potencia, yaciendo directamente sobre el cuerpo albitizado (Ver mapa 2). Este tipo de depósitos son el producto de la alteración por intemperismo.

Son arcillas de color amarillo, deleznales, poco plásticas. Mineralógicamente se encuentran compuestas por albita (12%), cuarzo (8%), minerales arcillosos (62%), óxidos de Fe y Mn (18%) (Ver anexo III)

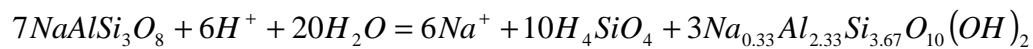
La composición mineralógica de las arcillas es la siguiente: sericita, esmectita, caolinita, halloisita (Ver anexo IV). En profundidad, este cuerpo se encuentra en forma de pequeños lentes de 1m de potencia, en la parte sur de la mina (Ver anexo VIII). A la profundidad de 10m, la arcilla se torna compacta, de color amarillo y poco plástica, la mineralogía es la misma que en superficie (Ver mapa 3).

- **Diques de obsidiana montmorillonitizados (M).** Son cuatro diques que afloran en toda la mina. Tienen una dirección E – W, su potencia es variable (aproximadamente 4m), se encuentran intruyendo al cuerpo albitizado y a la dacita D1 en la parte central de la mina (Ver mapa 2).

Son arcillas de color verde, deleznales, bastante plásticas. Mineralógicamente se encuentran compuestas por minerales arcillosos (60%), vidrio volcánico en forma de esferulitas (13%), clorita (14%), epidota (5%), plagioclasas (3%) (Ver anexo III). Las arcillas están compuestas por montmorillonita, sericita, esmectita e illita (Ver anexo IV).

A los 10m de profundidad estos cuerpos se encuentran en transición hacia su roca madre (obsidiana?), variando su textura y composición mineralógica (Ver mapa 3). A esta profundidad las arcillas son más compactas y menos plásticas, su mineralogía es: minerales arcillosos (42%), vidrio volcánico en forma de esferulitas más grandes en relación con la superficie (30%), clorita (10%), epidota (4%), plagioclasas (11%) (Ver anexo III).

La montmorillonita se formó por la devitrificación del vidrio volcánico, por acción del intemperismo. En este proceso sucedió la siguiente reacción:



Albita

Montmorillonita + Na⁻

Zona Silicificada (ZS). La silicificación afecta a parte de la dacita D1 que se encuentra aflorando en el depósito y a una pequeña porción del cuerpo albitizado. La circulación de los fluidos hidrotermales que causaron la silicificación estuvo regida por el fracturamiento preexistente en la roca albitizada (Ver mapa 2).

En el yacimiento la silicificación se expresa por la precipitación de calcedonia entre las fracturas de las rocas y en cavidades que evidencian el desprendimiento de minerales.

Este es el último evento hidrotermal que afectó al yacimiento. Lo anteriormente afirmado, se pone en evidencia por la existencia, en el yacimiento, de nidos argilizados que ciertamente, se formaron con anterioridad a la silicificación (Ver foto 17).

A los 10m de profundidad, esta zona posiblemente se haga un poco más extensa (ver mapa 3).



Foto 17. Vista norte del banco 2 (UTM: 693263E; 9847600N). Contacto transicional entre el cuerpo argilizado y la zona silicificada.

5.3.3. Volcanismo.

El volcanismo se manifiesta en el yacimiento, por la presencia de obsidianas que se encuentran intensamente devitrificadas.

Obsidianas?. Se encuentran presentes en forma de cuatro diques de 4m de espesor aproximadamente. Poseen una dirección este E – W y se encuentran intruyendo a la dacita D1 y al cuerpo albitizado. Son unas rocas vítreas, macizas, de color negro, que se encuentra en proceso de devitrificación debido al intemperismo reinante en la zona (Ver mapa 2).

Mineralógicamente se encuentran compuestas por vidrio volcánico (69%), plagioclasa microcristalina (10%), arcilla (19%) (Ver anexo IV).

A 10m de profundidad, estas obsidianas conservan su dirección y potencia, el grado de devitrificación va disminuyendo a medida que la profundidad aumenta (Ver mapa 3). La

composición mineralógica varía porcentualmente: vidrio volcánico (72%), plagioclasa microcristalina (28%) (Ver anexo IV).

5.3.4. Estratigrafía.

Arcillas Lateríticas (Lat). En la mina afloran en la parte noroccidental y sur de esta, y yacen en forma discordante sobre el cuerpo caolinizado (Ver foto 18) y el cuerpo albitizado. Estas arcillas se originaron por la descomposición y degradación de rocas de composición básica, como son las lavas basálticas de la formación Macuchi, debido a la acción del intemperismo.

La potencia de este depósito es de 4m en promedio. Mineralógicamente las arcillas lateríticas se encuentran compuestas por: montmorillonitas, alófanos, plagioclasas, cuarzo, óxidos de Mn, y óxidos e hidróxidos de Fe y de Al.



Foto 18. (UTM: 693358E; 9847370N) (1) Depósito Laterítico, (2) Cuerpo Argilizado (caolinítico), la línea roja representa el contacto discordante entre los dos depósitos.

Las arcillas lateríticas se depositaron sobre las rocas que conforman el yacimiento, mediante flujos de masa.

Depósitos Coluviales (Q). Este depósito está compuesto por megabloques de la dacita D1, del cuerpo albitizado, gravas arcillosas dacíticas, gravas arcillosas albitizadas, arcillas caoliníticas, arcillas montmorilloníticas y de los depósitos lateríticos. Se encuentran yaciendo en los flancos Noroccidental y Suroriental de la mina, es una capa de 2m de espesor.

5.4. Estructuras.

Las estructuras encontradas en el yacimiento son 3 familias de diaclasas, la primera de estas tiene una orientación preferencial subvertical de S – 80° - W buzante 10° al NW, cuya densidad de fracturamiento es muy alta, de aproximadamente 20 diaclasas por m².

La segunda familia tiene una dirección N – 5° - W buzante 60° al SW y tiene una densidad de fracturamiento de 30 diaclasas por m², y una tercera familia totalmente horizontal, de 35 diaclasas por m² de densidad de fracturamiento.

La génesis del diaclasamiento del yacimiento está ligada a la alteración hidrotermal que ha sufrido el cuerpo mineralizado.

Realizando una analogía con la interpretación que hace Titley (1986) y Proffett (2003), se puede decir que la presión generada por los fluidos magmáticos que originaron el pórfido reportado a 600m al Norte de la cordillera de Tierras Blancas y la intrusión de los cuerpos subvolcánicos, han fracturado el batolito de Echeandía y los basaltos de la Formación Macuchi.

La presión del fluido que causó la albitización, habría también generado alguna de las familias de diaclasas. La última generación de diaclasas se generó como resultado de la presión de los fluidos que causaron la silicificación.

Capítulo VI

Calidad de la materia prima.

6.1.Introducción.

Las muestras tomadas en el yacimiento fueron sometidas a diferentes análisis para determinar su composición mineralógica y química, así como también sus propiedades tecnológicas.

La composición mineralógica se determinó mediante los análisis petrológicos, petrográficos, PIMA y difracción de rayos X. Los resultados de los análisis de difracción de rayos X no fueron satisfactorios, motivo por el cual no son tomados en cuenta en el desarrollo del presente estudio.

La composición química se determinó mediante análisis químicos. Para establecer las propiedades tecnológicas del material se realizaron análisis dilatométricos y conos pirométricos.

6.2.Composición Mineralógica y Química.

6.2.1. Composición Mineralógica.

La composición mineralógica del cuerpo albitizado y de la grava arcillosa albitizada se determinó mediante análisis petrográficos y petrológicos, y para el cuerpo argilizado se aplicó los análisis PIMA.

Cuerpo albitizado y la grava arcillosa albitizada. De aquí en adelante, para referirse a estos tipos de rocas se los denominará como feldespatos, debido a que ese es el término

técnico que se utiliza en la empresa EDESA S. A, para nombrara a estos cuerpos. Los minerales que se han encontrado, en este cuerpo, son (Ver tabla 4):

Mineral	Porcentaje promedio (%) Datos de laboratorio
Albita	73.5
Andesina	2
Oligoclasa	3
Calcedonia	2
Pirofilita	8
Sericita	1
Esmectita	1
Pirolusita	0.6
Óxidos de Fe	0.4
Clorita	1
Epidota	0.5
Cuarzo	3
Minerales arcillosos	4
Total	100

Tabla 4. Contenido promedio de los minerales en el cuerpo albitizado, realizado en 50 muestras de láminas delgadas. (Ver anexo III).

En forma global el 79% de los minerales son feldespatos, cuarzo 3%, 1.5% de contaminantes (óxidos de Fe, pirolusita y epidota) y 16.5% restante, son minerales arcillosos.

Las materias primas utilizadas para la producción de la cerámica sanitaria son: feldespatos, cuarzos y caolines.

Entre los feldespatos se incluye a las plagioclasas (andesina, oligoclasa, albita), y los feldespatos de K. Además de la caolinita se tiene minerales como las esmectitas, cloritas, sericitas y pirofilitas que no afectan en las propiedades tixotrópicas de las arcillas y a su tamaño de grano. En los minerales silíceos se incluyen todas las variedades de sílice.

La epidota, los óxidos de Fe y Mn afectan en el color de la cerámica, pero incrementan la resistencia mecánica.

Esta composición mineralógica revela que el feldespato tiene una buena resistencia eléctrica y una baja resistencia térmica y mecánica. (Ver fig. 8).

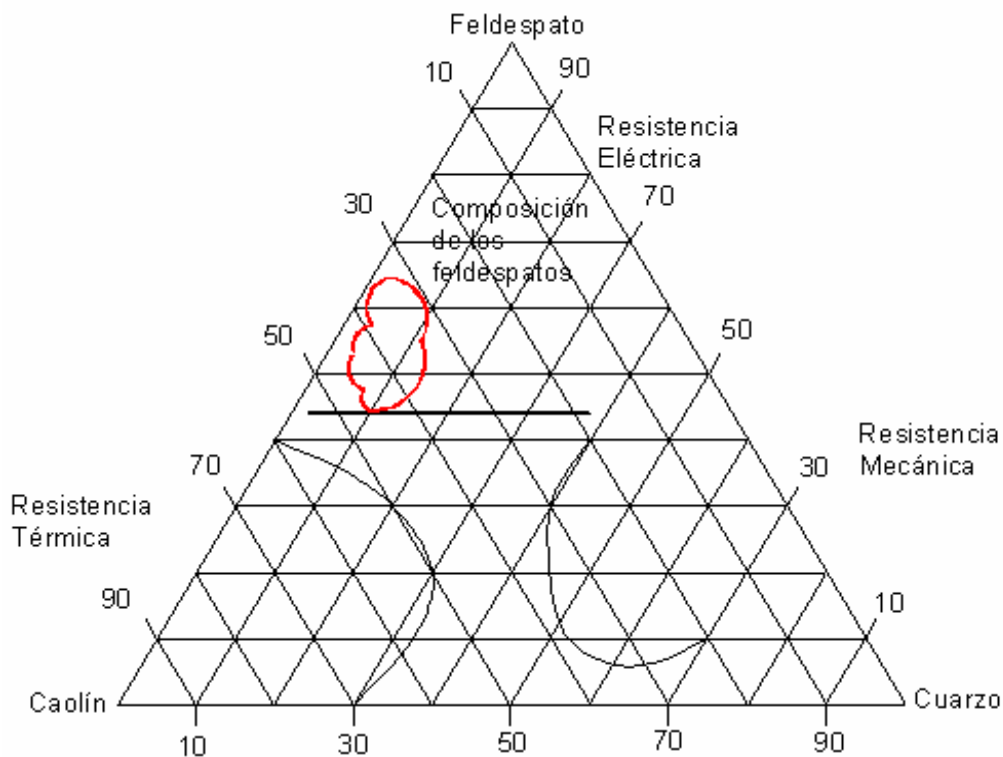


Fig. 8. Diagrama Feldespato – Caolín – Cuarzo, en donde se representa la resistencia eléctrica, térmica y mecánica que puede poseer un material cerámico.

La superficie delimitada por la línea roja representa la composición mineralógica que tienen los feldespatos de la mina. Entonces, se puede deducir que estos feldespatos del poseen una alta resistencia eléctrica, y no poseen resistencia térmica ni resistencia mecánica.

Cuerpo argilizado. De lo que resta del estudio, a este cuerpo se lo designará como caolín, debido a que este es el término técnico con el cual se lo denomina en la empresa EDESA S.A. La composición mineralógica de los caolines, es la siguiente (Ver tabla 5):

Minerales	Porcentaje promedio (%)
	Datos de laboratorio
Andesina	5.2
Albita	10
Cuarzo	2
Minerales arcillosos	61.5
Sericita	4
Óxidos de Fe	0.4
Clorita	1
Epidota	0.3
Óxidos de Mn.	0.6
Esmectita	5
Calcedonia	4
Pirofilita	3
Oligoclasa	3
Total	100

Tabla 5. Contenido promedio de los minerales en el cuerpo argilizado, realizado en 50 muestras de lámina delgada. (Ver anexo III).

La presencia de feldespatos y cuarzo hacen que la arcilla pierda plasticidad. La epidota y los óxidos de Fe y Mn afectaran el color de la cerámica.

Los minerales arcillosos presentes en el yacimiento son montmorillonita, illita, halloisita y caolinita (Ver anexo IV). La montmorillonita posee una plasticidad muy alta y al ser sometida al calor sufre contracción, el caolín es una arcilla plástica y es refractaria, las illitas poseen poca plasticidad al igual que las halloisitas.

Tomando en cuenta la composición mineralógica promedio de las rocas que conforman el cuerpo argilizado, se deduce que estas poseen una gran aplicación en la industria cerámica (Ver fig 9).

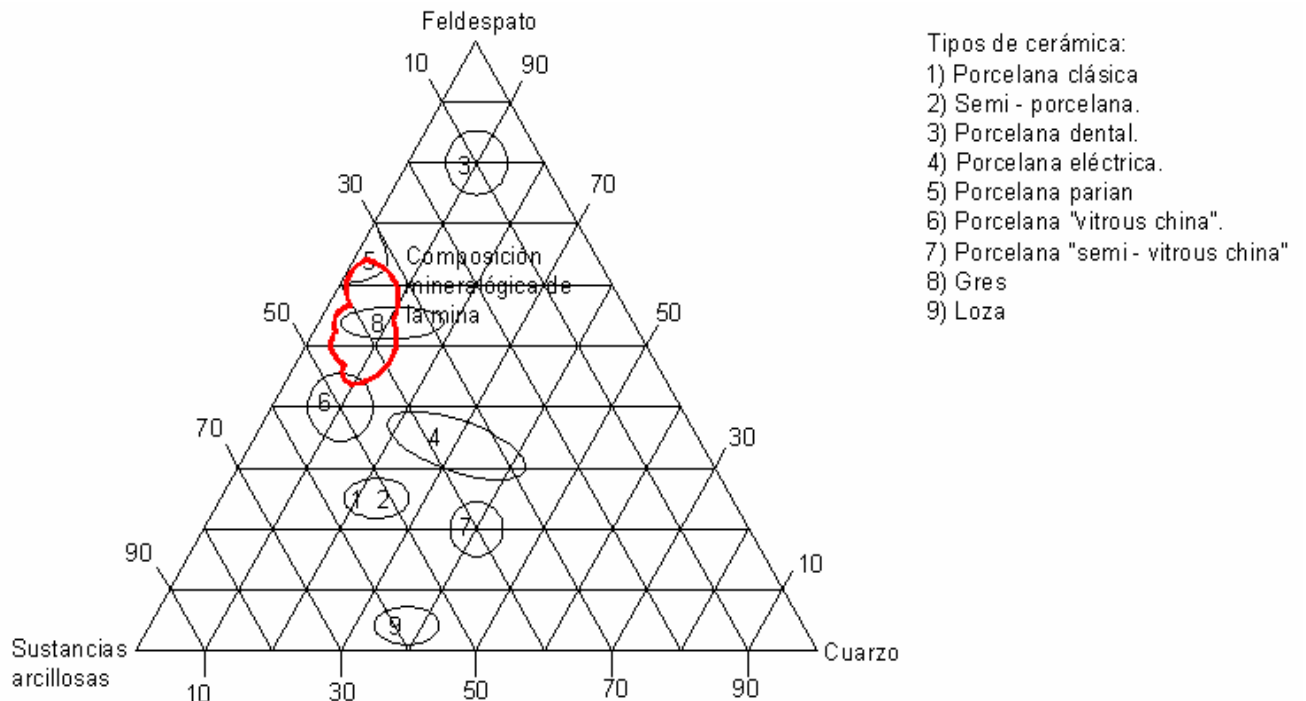


Fig 9. Diagrama arcillas – feldespato – cuarzo, en donde se muestra la formulación de los diferentes tipos de cerámica.

La composición mineralógica global de la mina nos indica que el feldespato varía entre el 35 al 55%, las sustancias arcillosas del 45 al 65% y el cuarzo de un 0 a un 15%, lo que nos indica que el material que se encuentra en la mina “La Ercilia”, sirve para la fabricación de porcelanas tipo parian, vitrous china y gres.

6.2.2. Composición Química.

El análisis de la calidad química de las rocas provenientes de los cuerpos argilizados y albitizados, se lo realiza por separado, debido a sus características diferentes.

Feldespato. Este análisis se lo realizó a 95 muestras de feldespato. La función que cumplen los feldespatos en la cerámica, es la de servir como fundente y en el vidriado. Además de esto, el feldespato disminuye la contracción lineal y la absorción de agua, aumenta la resistencia a la compresión, la rigidez dieléctrica y actúa como fundente en la pasta (Flor, 2005).

Los resultados, en promedio, de los análisis químicos (Ver anexo Vb) se reportan en la siguiente tabla (Ver tabla 6), en donde se comparan con resultados de trabajos anteriores realizados en la mina.

Óxidos	Inemin – Technostone (1988)	Júa (2005)	Trabajo actual
SiO ₂	73,46	67,53	56,77
Al ₂ O ₃	16,45	22,02	18,45
SO ₃	0,02	0	5,22
Fe ₂ O ₃	0,49	0,68	0,42
CaO	0,48	1,23	1,69
MgO	0,47	0,39	0,44
Na ₂ O	4,92	4,95	10,05
K ₂ O	0,07	1,15	0,65
Pérdida por calcinación	2,6	2,05	6,31
Total	98,96	100	100

Tabla 6. Comparación de los resultados de los análisis químicos obtenidos en los diferentes trabajos que se han realizado sobre la materia prima existente en el yacimiento.

La presencia del Fe₂O₃ afectará el color que resultará al momento que se someta la masa a cocción, pero se encuentra dentro de los parámetros permisibles, dándole un tono blanco – amarillento a la masa cocida (Ver Tabla 7).

Contenido de óxidos colorantes		Color del producto
Fe ₂ O ₃	TiO ₂	
0.2 – 0.4	0.0 – 0.1	Muy blanco
0.4 – 0.7	0.1 – 0.15	Blanco
0.7 – 0.8	0.2 – 0.3	Ligeramente amarillo
0.8	0.3	Amarillo claro

Tabla 7. Tabla comparativa entre el contenido de óxidos colorantes ver sus color del producto.

El óxido de Mn está incluido dentro de las pérdidas por calcinación (Álvarez, comunicación personal, 2007).

Caolín. La caolinita es un silicato – aluminio hidratado, generado por la descomposición de los feldspatos, su peso específico es 2,6, su dureza es de 2 en la escala de Mohs. El diámetro es generalmente inferior a 0,5 micras (Flor, 2005).

El caolín se utiliza en la cerámica debido a su blancura, inercia ante agentes químicos, ausencia de toxicidad, el tamaño de la partícula, etc. En la porcelana sanitaria, el caolín constituye el material plástico (Flor, 2005).

En la siguiente tabla, se reporta los resultados de los análisis químicos realizados a las muestras de caolín. (Ver tabla 8).

Óxidos	Inemin – BGR (1989).	Trabajo actual
SiO ₂	66,01	49,86
Al ₂ O ₃	20,50	23,2
SO ₃	0,2	9,29
Fe ₂ O ₃	0,71	0,5
CaO	0,24	1,50
MgO	0,05	1,1
Na ₂ O	0,89	8,76
K ₂ O	1,29	0,56
TiO ₂		
P ₂ O ₅		
MnO		
Pérdida por calcinación	9,5	8,45
Total	99,39	100

Tabla 8. Comparación de los datos obtenidos en los diferentes trabajos de investigación, realizados en la mina.

El contenido de Fe en las arcillas se encuentra dentro de los límites permisibles, dándole un color blanco a la mezcla cocida.

6.3. Propiedades Tecnológicas de la materia prima.

Las propiedades tecnológicas que se determinaron en las arcillas y los feldspatos fueron: análisis dilatométricos y las características observadas en el cono pirométrico.

Características observadas en el cono pirométrico. El cono pirométrico es una masa cerámica de composición y puntos de fusión determinado, con forma piramidal triangular, confeccionados en moldes de madera y prehornados a temperaturas bajas que les confiere manejabilidad. Estos conos se colocan sobre una base de arcilla refractaria y se sitúan en el horno de tal manera que puedan ser observados. Por efecto de la $\frac{\text{temperatura}}{\text{tiempo}}$ el cono se resblandece inclinándose hacia la horizontal. Los conos indican el efecto de la temperatura y el tiempo, quedando determinado el estado de cochura. Existen tres tipos de conos que son: orton, seger y HPC.

El cono, con el cual se evalúa las propiedades tecnológicas de las cerámicas que se realizan en EDESA, es el seger. Los conos seger son pequeños conos refractarios que se cocinan a una temperatura y rata de calentamiento definidos. El incremento de temperatura es de 20° C. Estos conos son utilizados para determinar el comportamiento de un material al calentamiento.

Las características en las que se pone especial atención, en el cono pirométrico seger, son las siguientes: la fundencia, vitrificación y el color de quema.

Fundencia: Representa el achatamiento que sufre el cono de material luego de sufrir el proceso de quema; el cual se lo clasifica como: *MALO* cuando el cono de prueba, después de ser quemado, continúa conservando su consistencia suelta o ligeramente consolidada, *BUENO* cuando el cono de prueba se asemeja a las condiciones mostradas por el cono standard, es decir, buen acatamiento y tiende a formarse una película vidriosa en el exterior del cono (Torres, 2005).

Cuando el material que se utiliza para realizar el cono, tiende a hervir y su textura final se semejante a la de la piedra pómez, se habla de una fundencia excesiva (Torres, 2005).

Los álcalis contenidos en los feldespatos en grandes tamaños no son solubles en agua, pero una molienda fina deja en libertad algo del álcalis. La presencia de estos álcalis da a los feldespatos un punto de fusión relativamente bajo, por lo cual en la mezcla normal

arcilla-feldespato-sílice se vuelven vítreos, el feldespatos se reblandece y junto a la sílice se vuelven vítreos, mientras que la arcilla forma la fase sólida (Guerra, 2003).

La temperatura real a la cual se ablandan y funden los feldespatos, depende de la naturaleza y cantidad de los diferentes minerales que los acompañan (Guerra, 2003).

Color de Quema: Permite observar la coloración que va a tomar el material en el momento de la quema cuando forme parte de las pastas cerámicas, da una idea del contenido de hierro de la materia prima, esta propiedad puede observarse en las pastillas luego de ser sometidas al ciclo de cocción. (Díaz, 2000).

Este es el parámetro quizá más controlado, el color debe ser generalmente claro; los colores oscuros, por gran fundencia o vitrificación que tengan, son descartados (Torres, 2005).

Los feldespatos tienen un brillo vítreo a nacarado (matizado), variando sus colores de acuerdo a las impurezas que contienen. Pueden ser transparentes o lechosos (Guerra, 2003).

Una de las impurezas más perjudiciales presentes en el material feldespático, son los óxidos de hierro, los cuales afectan notablemente el color del material al ser quemado (Guerra, 2003).

A parte de sus funciones específicas de los materiales duros es importante observar la incidencia del color y el grado de contaminantes cuando estos materiales participan de la composición de una pasta de porcelana o esmalte (Guerra, 2003).

Vitrificación: Es la apariencia vidriosa y lisa (como vidrio pulido) que adquiere el cono de ensayo luego de ser sometido a la quema; de igual manera que la fundencia, la vitrificación se expresa como buena y mala, según sea su apariencia exterior comparada con el standard (Torres, 2005).

Al incrementarse la temperatura los álcalis se vuelven más activos y primero disuelven las partículas de arcilla y luego la sílice libre. Estos cambios controlan el grado de vitrificación de la cerámica durante la cocción (Navarro, 2001).

La figura 10 presenta los conos pirométricos en donde se puede observar la fundencia, color de quema y vitrificación que presentan los feldespatos después de la cocción.



Fig 10. Conos pirométricos del feldespato La Ercilia “Feldespato Nacional”, el cual es comparado con el cono resultante de l feldespato importado. Tomado de Júa (2005).

Análisis Dilatométrico. Cuando se aumenta la temperatura de un cuerpo sólido, la distancia promedio entre los átomos también aumenta, produciéndose la dilatación. El cambio en cualquier dimensión lineal del sólido tal como su longitud, anchura o espesor se denomina como “dilatación lineal”. La medida de estos cambios es conocida como DILATOMETRÍA (Júa, 2005).

En la figura 11, se muestra las dilatometrías, de tres muestras del área minera, una de feldespato, otra de grava arcillosa albitizada y la otra de arcilla, en donde se puede observar el comportamiento, de cada uno de los estadios de formación de las arcillas, cuando son sometidas al calentamiento.

La temperatura ambiental a la que se realizó el ensayo fue de 25° C. Por lo tanto la temperatura inicial es de 25° C. Entre 25° y 60° C, los tres estadios se encuentran en un proceso de secado. En el intervalo entre 60° y 160° C, el estadio final muestra una dilatación negativa, debido a la presencia de humedad.

Entre 25° y 420° C para el estadio 1 y 2, y entre 160° a 490° C para el estadio final, las gradientes de dilatación son prácticamente constantes. A los 420° para los estadios 1 y 2, y 490° C para el estadio final, las curvas tienden a descender. Esto es debido a la deshidratación que sufren las muestras y la consecuente pérdida de peso.

A los 560° C, se encuentra el primer punto de inflexión, esto se debe a la transformación de las fases minerales. De los 560° hasta 880° C las muestras continúan dilatándose, a gradientes diferentes. Después de esto las muestras empiezan a contraerse con rapidez, debido a la formación de la fase vítrea.

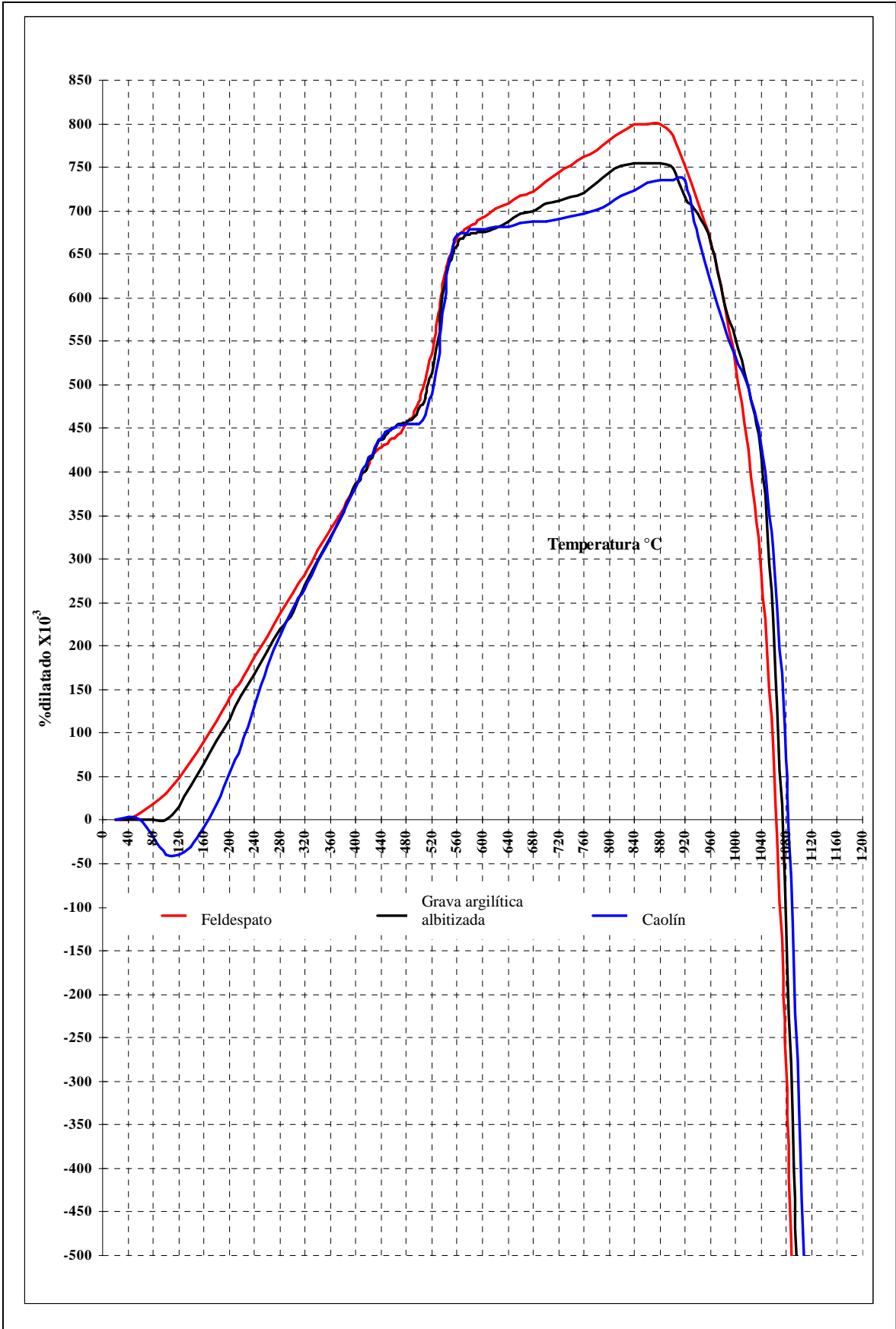


Fig 11. Dilatometrías de las tres muestras del área minera “La Ercilia”.

Capítulo VII.

Evaluación de Reservas.

7.1. Generalidades.

El método más utilizado en la evaluación de reservas en los yacimientos no metálicos, es el método geométrico, el cual, consiste en construir formas geométricas, en donde se estiman parámetros como espesor, área y volumen tanto del material útil como del material estéril que conforma la sobrecarga del yacimiento o las intercalaciones en el mismo.

El material estéril del yacimiento está constituido por arcillas lateríticas, arcillas ferruginosas, la dacita D1, las gravas arcillosas dacíticas, arcillas montmorilloníticas, cuerpo albitizado rico en óxidos y el material removido. El material removido es el material estéril que ha sido removido con el objeto de estabilizar los accesos y los bloques.

El material útil es el cuerpo albitizado y la grava arcillosa albitizada estos dos conocidos en la empresa como feldespatos y el cuerpo caolinizado (caolín).

7.2. Criterios de rentabilidad de los yacimientos.

Existen dos tipos de criterios que controlan la rentabilidad de los yacimientos, estos son los criterios variables y los criterios fijos, los cuales se encuentran muy ligados entre sí.

- ***Criterios Variables ó Técnico - Económicos***, estos factores se encuentran ligados a las leyes del mercado, tales como son, la ley de la oferta y la demanda, utilidad, posibilidad de sustitución del mineral en lo concerniente a la parte económica. En lo referente a los aspectos técnicos, los agentes a tomarse en cuenta son los costos de prospección, exploración, explotación, concentración del mineral útil, tratamiento y transporte al destino final, de este material.

- **Criterios Fijos ó Geológicos**, son todos aquellos factores que dependen de la naturaleza misma del material. En este grupo se evalúa los siguientes parámetros: potencia del yacimiento, composición química, propiedades físico – químicas y la ubicación del yacimiento.

Los factores más importantes son: profundidad de aparición, continuidad y potencia del yacimiento, presencia de agua, relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga, presencia de minerales útiles y perjudiciales. En el caso del presente estudio, se han tomado en cuenta la composición química y mineralógica, las propiedades tecnológicas, la potencia del yacimiento y relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga.

La composición química y mineralógica, así como también las propiedades tecnológicas de los materiales que conforman el yacimiento se los trataron en el capítulo anterior. En lo referente a la potencia del yacimiento y la relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga se los analizará en el siguiente subcapítulo.

7.3. Parámetros del yacimiento.

Los parámetros del yacimiento son: superficie, potencia del yacimiento, potencia de la sobrecarga y la relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga.

Superficie. La superficie de los bloques del yacimiento rentable de los caolines y de los feldespatos se la obtuvo midiéndola con el planímetro. Las superficies determinadas para el caolín y para el feldespato se pueden observar en la siguiente tabla (Ver tabla 9).

Bloque	Superficie bloques de caolín(m ²)	Superficie bloques de feldespato (m ²)
Bloque 1	7345,35	890,06
Bloque 2	316,54	23,03
Bloque 3	192,97	28,54
Bloque 4	417,61	371,90
Bloque 5	161,47	6210,91
Bloque 6	144,52	1648,92
Bloque 7	2461,81	435,00
Bloque 8	289,41	

Tabla 9. Superficies de los bloques de caolín y de feldespato.

Potencia del yacimiento. Ésta se la defino para los caolines como para los feldespatos.

- **Caolín.** En este caso se ha podido determinar la presencia de ocho zonas (Ver mapa 4), cuya explotación es rentable. Cada zona se la ha considerado como un bloque (Ver anexo VIII).

En el bloque 1, las labores de exploración que atraviesan todo el depósito de caolín son: PMA – 12, P – 27, PMA – 9, PMA – 11, PMA – 8, PMA – 10 y P - 28, en este bloque, el yacimiento, tiene una potencia promedio de 10,57m.

En el bloque 2, las labores de exploración que cortan todo el depósito son: P – 23, C – 40, C – 41, C – 42, C – 43, C – 44, en esta parte, el yacimiento tiene una potencia promedio de 2,42m. En el bloque 3, C – 45, C – 46, C – 47 y C – 48, con una potencia media de 3,81m. En el bloque 4, P – 21 y P – 20, con una potencia promedio de 14,75m.

En el bloque 5 la potencia promedio del yacimiento rentable es 9,5m. En el bloque 6, las labores de exploración que atraviesan el yacimiento son: C – 30, C – 31, C – 32, C – 33, C – 34, C – 35 y C – 36, y la potencia promedio del yacimiento es 2,11m.

En el bloque 7 la potencia media del yacimiento rentable es 16m (Ver anexo VIII). Mientras que en el bloque 8 se encuentra solo el PMA – 16 y tiene una potencia de yacimiento de 9m (Ver anexo I).

- **Feldespatos.** En este caso se determinó la presencia de siete zonas de explotación rentable, y se procedió a determinar los mismos parámetros que se obtuvieron para el caolín, basados en los datos de las mismas labores de exploración (Ver mapa 5, anexos I y VIII).

En el bloque 1, la labor de exploración que corta el depósito es P – 19 y en este bloque el yacimiento tiene una potencia de 22,6m; en el bloque 2, el P – 21, con una potencia de 15,2m. En el bloque 3, el P – 20 con una potencia de 5,2m. En el bloque 4, la perforación P – 18, con una potencia de 12,75m (Ver anexo I).

En el bloque 5, las labores de exploración que atraviesan el depósito son: P – 1, P – 3, P – 4, P – 6, P – 7, P – 9, P – 16, P – 17, P – 22 y P – 25, en este bloque la potencia promedio del yacimiento es 17,4m (Ver anexo VIII).

En el bloque 6, las labores de exploración que atraviesan el yacimiento son: P – 8, P – 10, P – 12 P – 14 y P – 26, y la potencia promedio del yacimiento es de 11m (Ver anexo VIII). En el bloque 7 se localiza la perforación P – 15 y en este punto el yacimiento tiene una potencia de 8m (Ver anexo I).

Potencia de la Sobrecarga. La sobrecarga esta compuesta por material orgánico, material de relleno, depósitos coluviales y arcillas lateríticas.

En el caso del caolín, la potencia de la sobrecarga en el bloque 1 es 1,7m, en el bloque 2, 3, 5 y 6 es 0, es decir no hay sobrecarga.

En el bloque 4, la potencia de la sobrecarga es de 2,5m; en el bloque 7 es de 2m y en el bloque 8 es de 3m. El espesor promedio de la sobrecarga, en el yacimiento de los caolines rentables es de 1,15m (Ver tabla 10).

Bloque	Espesor Sobrecarga (m)
Bloque 1	1,7
Bloque 2	0
Bloque 3	0
Bloque 4	2,5
Bloque 5	0
Bloque 6	0
Bloque 7	2
Bloque 8	3
Promedio	1,15

Tabla 10. Espesor de la sobrecarga en el yacimiento de caolín rentable.

En el caso del feldespatos, la potencia de la sobrecarga en el bloque 1 esta relación es 2m, en el bloque 2 es de 2,65m, bloque 3 es 4,95m, en los bloques 4 y 7 es 0 ya que no existe sobrecarga.

En el bloque 5, la potencia de la sobrecarga es de 0,5m, en el bloque 6 es de 2,23m. Entonces, la potencia promedio de la sobrecarga en el yacimiento de los feldespatos rentables es 1,76m (Ver tabla 11).

Bloque	Espesor sobrecarga (m)
Bloque 1	2,00
Bloque 2	2,65
Bloque 3	4,95
Bloque 4	0,00
Bloque 5	0,50
Bloque 6	2,23
Bloque 7	0,00
Promedio	1,76

Tabla 11. Espesor de la sobrecarga en el yacimiento de feldespatos rentable.

Análisis de la relación de la Potencia del Yacimiento/Potencia de la Sobrecarga.
Según las normas internacionales, el valor de la relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga, debe ser mínimo 1/1, es decir, la potencia del yacimiento debe ser, por lo menos, igual a la potencia de la sobrecarga, para que el yacimiento sea considerado como rentable.

- **Caolín.** En el bloque 1 la relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga es $6,21/1$, en el bloque 2, 3, 5 y 6 es cero, es decir, no hay sobrecarga. En el bloque 4 la relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga es de $5,9/1$, en el bloque 7 es de $8/1$ y en el bloque 8 es de $3/1$ (Ver tabla 12).

Bloque	Espesor Sobrecarga (m)	Potencia del Yacimiento (m)	Potencia del Yacimiento/Potencia de la Sobrecarga
Bloque 1	1,7	10,57	6,21/1
Bloque 2	0	2,42	0
Bloque 3	0	3,81	0
Bloque 4	2,5	14,75	5,9/1
Bloque 5	0	9,5	0
Bloque 6	0	2,11	0
Bloque 7	2	16	8/1
Bloque 8	3	9	3/1
Promedio	1,15	8,52	2,88/1

Tabla 12. Relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga para el caolín.

La relación promedio entre la potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga en el yacimiento de caolín rentable es de $2,88/1$.

- **Feldespato.** La relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga en el bloque 1 es $11,3/1$, en el bloque 2 $5,73/1$, en el bloque 3 $1,05/1$. En el bloque 4 y 7 esta relación es 0 es decir, no existe sobrecarga.

En el bloque 5, la relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga es $34,8/1$ y en el bloque 6, es de $4,93/1$ (Ver tabla 13).

Bloque	Espesor Sobrecarga (m)	Potencia del Yacimiento (m)	Potencia del Yacimiento/ Potencia de la Sobrecarga
Bloque 1	2,00	22,6	11,30/1
Bloque 2	2,65	15,2	5,73/1
Bloque 3	4,95	5,2	1,05/1
Bloque 4	0,00	12,75	0
Bloque 5	0,50	17,4	34,80/1
Bloque 6	2,23	11	4,93/1
Bloque 7	0,00	8	0
Promedio	1,76	13,16	8,25/1

Tabla 13. Relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga para el feldespatos.

La relación promedio potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga el yacimiento de feldespatos rentable es de $8,25/1$.

7.4. Cálculo de las reservas del yacimiento.

El método que se escogió para la evaluación de reservas de caolín y de feldespatos fue el de media aritmética, debido a que no existe una red regular de exploración del yacimiento, debido a lo cual hace muy difícil la aplicación de otro método de evaluación.

Método de media aritmética. Para utilizar este método, se determinó el valor medio de la potencia que se multiplicó por el valor de la superficie, para obtener un volumen. La fórmula que se utilizó fue: $Q = E * S$ en donde:

Q= Reservas (Toneladas).

E= Espesor del material rentable.

S= Superficie.

Reservas Geológicas, están determinadas por la configuración del yacimiento e incluyen todo el volumen del material útil presente en el mismo. Este tipo de reservas ayudan a

definir los aspectos técnicos y económicos, necesarios para la explotación. A continuación, se describe los resultados obtenidos tanto para el caolín como para el feldespato.

En el caso del área minera “La Ercilia”, las reservas geológicas también son reservas rentables tanto para caolín como para feldespato, debido a la configuración que tiene el yacimiento.

Reservas Rentables. Para que las reservas sean consideradas como rentables, en yacimientos no metálicos, la relación potencia del yacimiento/potencia de la sobrecarga debe ser mínimo 1/1, es decir, a un metro de yacimiento se debe tener máximo un metro de sobrecarga. En el caso del caolín, como ya se anotó anteriormente, la relación promedio es $2,88/1$, y para los feldespatos es $8,25/1$, por lo cual se los considera como rentables, para la explotación de caolín como para el de feldespato. A continuación se describe los resultados obtenidos para estos minerales.

✓ **Caolín.** Como se muestra en la tabla 12, la potencia de los estériles es 2,88 veces inferior a la del yacimiento, por lo cual, la explotación de estas ocho zonas, es rentable. Entonces las reservas rentables y geológicas son (Ver tabla 14):

Bloque	Superficie (m ²)	Espesor Material útil (m)	Volumen Material útil (m ³)
Bloque 1	7345,35	10,57	77640,33
Bloque 2	316,54	2,42	766,03
Bloque 3	192,97	3,81	735,22
Bloque 4	417,61	14,75	6159,67
Bloque 5	161,47	9,5	1533,94
Bloque 6	144,52	2,11	304,94
Bloque 7	2461,81	16	39388,90
Bloque 8	289,41	9	2604,69
Total			129133,71

Tabla14. Cálculo de reservas rentables y geológicas de caolín en el área minera “La Ercilia”.

Entonces, las reservas geológicas y rentables existentes de caolín en el área minera son **129133,71m³**, siendo lo bloques de mayor interés, el bloque 1 y el 7, debido a que contienen la mayor cantidad de reservas.

- ✓ **Feldespato.** En la tabla 13, se puede observar que la potencia de los estériles es, en promedio, 8,25 veces inferior a la del yacimiento, por lo cual, la explotación de los siete bloques es rentable. Entonces, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla (Ver tabla 15).

Bloque	Superficie (m ²)	Espesor Material útil (m)	Volumen Material útil (m ³)
Bloque 1	890,06	22,6	20115,36
Bloque 2	23,03	15,2	350,12
Bloque 3	28,54	5,2	148,41
Bloque 4	371,90	12,75	4741,75
Bloque 5	6210,91	17,4	108069,82
Bloque 6	1648,92	11	18138,15
Bloque 7	435,00	8	3480,03
Total			155043,64

Tabla 15. Cálculo de reservas rentables de feldespatos en el área minera “La Ercilia”.

Por lo anotado en la tabla anterior, las reservas rentables, de feldespatos, en el área minera “La Ercilia” son **155043,64m³**. Los bloques de mayor interés son el 5 y el 1, debido a que en este existe una mayor cantidad de reservas.

7.5 Cálculo del volumen de la sobrecarga.

En este caso se realizó el cálculo de volumen de sobrecarga por separado, tanto para el caolín como para el feldespatos.

- **Caolín.** En general, el espesor de la sobrecarga en el yacimiento de caolín rentable, varía desde 0 a 3m. El volumen de sobrecarga que cubre el yacimiento de caolín rentable es **19322,95m³** (Ver tabla 16).

Bloque	Superficie (m ²)	Espesor Sobrecarga (m)	Volúmen Sobrecarga (m ³)
Bloque 1	7345,35	1,7	12487,09
Bloque 2	316,54	0	0,00
Bloque 3	192,97	0	0,00
Bloque 4	417,61	2,5	1044,01
Bloque 5	161,47	0	0,00
Bloque 6	144,52	0	0,00
Bloque 7	2461,81	2	4923,61
Bloque 8	289,41	3	868,23
Total			19322,95

Tabla 16. Cálculo del volumen de sobrecarga en el yacimiento de caolín rentable.

- **Feldespató.** En general, el espesor de la sobrecarga en el yacimiento de feldespató rentable varía desde 0 a 4,95m. El volumen de sobrecarga que cubre el yacimiento de feldespató rentable es **8764,99m³** (Ver tabla 17).

Bloque	Superficie (m ²)	Espesor Sobrecarga (m)	Volúmen de sobrecarga (m ³)
Bloque 1	890,06	2,00	1780,12
Bloque 2	23,03	2,65	61,04
Bloque 3	28,54	4,95	141,28
Bloque 4	371,90	0,00	0,00
Bloque 5	6210,91	0,50	3105,45
Bloque 6	1648,92	2,23	3677,10
Bloque 7	435,00	0,00	0,00
Total			8764,99

Tabla 17. Cálculo del volumen de sobrecarga en el yacimiento de feldespató rentable.

Capítulo VII.

Conclusiones y Recomendaciones.

7.1. Conclusiones:

- A los 25 Ma se estableció un arco magmático continental, que se fue extinguiéndose paulatinamente en una dirección NNE, como evidencia de lo afirmado tenemos las edades registradas en los diferentes batolitos, existentes en la zona.
- La falla “Estero El Guatuzo” controló la intrusión de la facies de borde del batolito de Echeandía y de las rocas que conforman el yacimiento “La Ercilia”.
- En el Plio - Cuaternario al batolito de Echeandía, intruyen los cuerpos Subvolcánicos San Francisco en tres pulsos diferentes.
- Estos cuerpos subvolcánicos, posiblemente sean los equivalentes subvolcánicos de un pórfido cuprífero más profundo, que existe a 600m al Norte del área minera “La Ercilia”.
- Las rocas que pertenecen a estos cuerpos sufrieron un proceso de alteración hidrotermal.
- Las rocas que conforman el yacimiento son: dacita D1, cuerpo albitizado, cuerpo albitizado rico en óxidos, cuerpo propilitizado, grava arcillosa dacítica, gravas arcillosas albitizadas, cuerpo caolinizado, arcillas ferruginosas, diques de obsidiana montmorillonitizada, obsidianas, arcillas lateríticas y depósitos coluviales.
- Las rocas que se explotan en el yacimiento “La Ercilia” son las que componen el cuerpo albitizado, las gravas arcillosas albitizadas y el cuerpo caolinizado. La sobrecarga está compuesta por las arcillas lateríticas y los depósitos coluviales. Los

materiales estériles son: dacita D1, cuerpo albitizado rico en óxidos, cuerpo propilitizado, grava arcillosa dacítica, arcillas ferruginosas, diques de obsidiana montmorillonizados y la obsidiana.

- Los materiales estériles son: arcillas lateríticas, dacita D1, arcillas montmorilloníticas, arcillas ferruginosas y el material removido, que no es más que el resultado de las actividades de explotación de la mina.
- En las partes más profundas del yacimiento tuvo lugar la propilitización de las rocas, dando lugar a la alteración de los diques más profundos.
- Este proceso de alteración, se realizó a altas presiones en un rango de temperatura de 150° a 300°C y pH neutro, en donde hubo un intercambio de Ca por Na en las plagioclasas (albitas).
- Hubo un cese del evento hidrotermal, en este momento se realizó la intrusión de los diques de obsidiana.
- Estos diques de obsidiana y los cuerpos albitizados, sufrieron procesos de montmorillonización y caolinitización respectivamente, debido al intemperismo de la zona.
- El último proceso de alteración hidrotermal silicificó, en parte, a las rocas que conforman el yacimiento.
- Los dos eventos de alteración hidrotermal e intrusión, que ha sufrido el yacimiento, generaron una alta densidad de fracturamiento que existe en el cuerpo. La densidad de fracturamiento del yacimiento es mayor en la parte baja del mismo, disminuyendo en la parte superior de las rocas que conforman el yacimiento.
- Las reservas rentables de caolín, existentes en el yacimiento “La Ercilia” son: 129133,71m³.

- Las reservas rentables de feldespatos, existentes en el yacimiento “La Ercilia” son: 155043,64m³.
- Las zonas que presentan mayor interés para la explotación de caolín son las denominadas como bloques 1 y 7, y se encuentran ubicadas en la parte noroccidental y sur del área minera, respectivamente, debido a que poseen la mayor cantidad de reservas de caolín.
- Las zonas que lucen más atractivas para la explotación de feldespatos son las llamadas como bloque 1 y 5, y se encuentra ubicada en la parte norte y central del área minera, respectivamente, ya que poseen la mayor cantidad de reservas de feldespatos.

7.2. Recomendaciones:

- Se recomienda explorar en una forma exhaustiva, la parte noroeste y sureste del yacimiento, con el ánimo de obtener posibles reservas de caolín, en esas partes del yacimiento.
- Debido a las características mecánicas del depósito laterítico, el talud sobre este depósito no debe ser mayor a 2m de altura, ya que al sobrepasar esta altura el depósito tiende a colapsar.
- Las mallas de perforación deben ser regulares y simétricas, esto ayudará a alcanzar mejores resultados a los obtenidos, en lo que a evaluación de reservas y determinación de la configuración del yacimiento se refiere.
- Las próximas labores de exploración (geofísicas y perforaciones mecánicas) deben alcanzar el basamento, con el objeto de obtener un modelo tridimensional del yacimiento completo, obtener la profundidad total del yacimiento económicamente rentable y realizar de mejor manera, la planificación de la explotación de los materiales de la mina.

Capítulo IX

Bibliografía:

- ❖ Albuja L, Ibarra M, Urgilés J, Barriga R: Estudio Preliminar de los Vertebrados Ecuatorianos; **Departamento de Ciencias Biológicas**, Escuela Politécnica Nacional, Quito, **en impresión**.
- ❖ Arribas A, Hedenquist J, Itaya T, Okada T, Concepción R, García J, (1995): Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu – Au deposits over 300 km in northern Luzon, Philippines; **Geology**, págs: 337 – 340.
- ❖ Aspden J y Litherland J. (1997): Geología e Historia Colisional Mesozoica de la Cordillera Real. **Tectonophysics**.
- ❖ Aspden J, Duque P, McCourt W, Pilatasig L, Villagómez R, (2000): Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 1° - 2° S. Escala 1:200000.
- ❖ Bourgois J, Egüez A, (1990): Évolution Géodynamique de la Cordillère Occidentale des Andes d’Ecuateur: la découverte de la formation éocène d’Apagua; **Géologie**, Paris.
- ❖ Bravo L. (2003): Los feldespatos de interés industrial y sus usos en el Ecuador; Revista Politécnica, **Monografía de Recursos Minerales 2** Vol. 24 N°2, Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Recursos Minerales y Geoquímica, págs: 2 – 9.
- ❖ CIAJMM, Japan International Cooperation Agency and Metal Mining Agency of Japan, (1991): Report on the Metal Exploration in the Bolivar Area, Republic of Ecuador; **Consolidated Report**, MPNCR(3) 91-72, pag: 39-46; 101-108; 115-118; 143-146.

- ❖ Corbett G, Leach T, (1998): Southwest Pacific Rim Gold – Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization; Economic Geology, Special Publication, Number 6, págs: 55 – 95.

- ❖ Cornel E, Blattner P, (1988): Hydrothermal Alteration, Stable Isotopes, and Fluid Inclusions of the Golden Cross Epithermal Gold – silver Deposit; Economic Geology, Vol. 83, Waihi, New Zealand, pág: 895.

- ❖ Cosma L, Lapierre H, Jaillard E, Laubacher G, Bosch D, Desmet A, Mamberti M, Gabrielle P, (1998): Pétrographie et géochimie des unités magmatiques de la Cordillère Occidentale d'Équateur (0°30'S): implications tectoniques; **Bulletin Society Géologique**, France.

- ❖ Díaz D, (2000): Purificación del Feldespato Parte II; **Tesis de Grado**, Escuela de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Química, Escuela Politécnica Nacional, pág: 89.

- ❖ DIM, Departamento de Investigación Minera de EDESA S.A. (1991), Informe Técnico de Exploración Geológica Área “San Luis”; Cantón Echeandía, Provincia de Bolívar.

- ❖ Dirección General de Geología y Minas (D.G.G.M.), (1979), Mapa geológico de Guaranda, escala 1: 100000.

- ❖ Dirección General de Geología y Minas (D.G.G.M.), (1979), Mapa geológico de Quevedo, escala 1: 100000.

- ❖ Donat M, Camili F, Centritto N, Millan A, Curso de Cerámica Sanitaria, Instituto Universitario de Tecnología “Dr. Federico Rivero Palacio”, **Fundatec**, La Victoria, Estado de Aragua, Venezuela, **en impresión**.

- ❖ Einaudi M, (1993): Porphyry Cu Systems: Volcanic Roots?; **Volcanoes and Ore Deposits course**.

- ❖ Flor P, (2005): Apuntes de Cerámica, Laboratorio de Cerámica; **Carrera de Ingeniería Química**, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

- ❖ Greffié C, Baillo L, Milési J, (2002): Supergene Alteration of Primary Ore Assemblages from Low – Sulfidation Au – Ag Epithermal Deposits at Pongkor Indonesia, and Nazareño Perú; **Economic Geology**, Vol. 47, Págs: 561 – 571.

- ❖ Guerra P, (2003): Manual de Ensayos de Laboratorio; **EDESA S.A**, Quito, págs: 12-15.

- ❖ Hedenquist J, (1993): Environments of volcanic – hosted epithermal mineralization recent: Recent advances in understanding the variable nature of near – surface hydrothermal systems; **Geological Survey of Japan**, Japan.

- ❖ Hedenquist J, Izawa E, Arribas A, White N, (1998): Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration; **Society of Resource Geology**, N° 1.

- ❖ Hedenquist J, Lowenstern J, (1994): The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits; **Nature**, Vol. 370, págs: 519 – 526.

- ❖ Hinojosa D, (2005): Estudio Geológico y Evaluación de Reservas del Yacimiento de Calizas Shobol – Calerita. Provincia de Chimborazo; **Tesis de Grado**, Escuela de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

- ❖ Hudson D, (2003): Epithermal Alteration and Mineralization in the Comstock District, Nevada; **Economic Geology**, Vol.: 98, págs: 367 – 385.

- ❖ Hughes R, Pilatasig L, (2002): Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador; **Tectonophysics**.

- ❖ INAMHI, Almanaque anual, (1999).

- ❖ Inemin – BGR (1989): Materias primas cerámicas en Cuenca, Loja y alrededores, Tomo I, págs.: 99 – 114.

- ❖ Inemin – Technostone (1988): Estudio de los Yacimientos de Minerales No Metálicos y Rocas Ornamentales, Vol. VI, Feldespato, págs.: 92 – 111.

- ❖ Instituto Geográfico Militar (1997); Mapa Topográfico del Área de Barranco Colorado.

- ❖ Jaillard E., Ordoñez M., Benítez S., Berrones G., Jiménez N., Montenegro G., Zambrano G. (1995): Basin Development in an Accretionary, Oceanic – Floored Fore – Arc Setting: Southern Coastal Ecuador, During Late Cretaceous – Late Eocene Time, **AAPG, Memoir 62**, págs.: 615 – 631.

- ❖ Jaya D, Troncoso L, Egüez A: Geochemical Characteristics of the Cretaceous Basement of Western Ecuador; **Instituto Geofísico**, Escuela Politécnica Nacional, **En impresión**.

- ❖ Júa P, (2005): Estudio de Pre-Factibilidad económica de un sistema de tratamiento del feldespato nacional de EDESA; **Tesis de Grado**, Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Química, Quito.

- ❖ Lavenu A., Noblet C., Bonhomme W., Egüez A., Dugas F., Vivier G. (1992): New K – Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism and tectonics, **Pergamon Press**, págs.: 315 – 316.

- ❖ Lebrat M, Mégard F, Dupuy C, Dostal J, (1987): Geochemistry and tectonic setting of pre – collision Cretaceous and Paleogene volcanic rocks of Ecuador; **Geological Society of América Bulletin**.

- ❖ Lugo W, (2003): Geología y Petrografía de la serie detrítica del Cretácico Superior al Eoceno de la Cordillera Occidental (Entre San Juan y Guaranda); **Tesis de Grado**,

Escuela de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional, Quito.

- ❖ Machete M, Dart R, Egüez A, Alvarado A, Yepes H, (2003): Map of Quaternary Faults and Folds of Ecuador and Its Offshore Regions.
- ❖ Maksaev V, Reseña Metalogénica de Chile y de los Procesos que Determinan la Metalogénesis Andina; **En impresión.**
- ❖ Mamberti M, Lapierre H, Bosch D, Jaillard E, Ethien R, Hernandez J, Polvé M, (2002): Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombian Plateau in Ecuador; **Lithos**, Science Direct.
- ❖ Navarro F, julio (2001): Concentración de un Mineral Feldespático por Flotación en Columna; **Tesis de Grado**, Escuela de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Química, Escuela Politécnica Nacional, Pág.: 5.
- ❖ Neumayr P, Hagemann S, (2002): Hidrothermal Fluid Evolution within the Cadillac Tectonic Zone, Abitibi Greenstone Belt, Canada: Relationship to Auriferous Fluids in Adjacent Second – and Third – order Shear Zones; **Economic Geology**, págs: 1203 – 1225.
- ❖ Palacios W, (2003) **Consultoría Geológico – Minera**, Auditoría Ambiental Minera del proyecto “La Ercilia” Echeandía – Bolívar, Quito, Noviembre, págs: 26 – 27, 31 – 32, 35 – 36.
- ❖ Panteleyev A. (1994): Porphyry Au; **En impresión.**
- ❖ Pardo Casas F, Molnar P, (1987): Relative Motion of the Nazca (Farallón) and South American plates since Late Cretaceous time; **Cambridge**, Tectonics 6, págs: 233 – 248.
- ❖ Patzelt E, (1985): Flora del Ecuador; **Banco Central del Ecuador**, Quito.

- ❖ PDLCE: Gobierno Municipal del Cantón Echeandía, (2004): Plan de Desarrollo Local del Cantón Echeandía; Echeandía.

- ❖ Perelló J, Carlotto V, Zárate A, Ramos P, Posso H, Neyra C, Caballero A, Fuster N, Muhr R, (2003): Porphyry – Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas – Sauri Belt, Cuzco Region, Perú; **Economic Geology**, Vol.: 98, págs: 1575 – 1605.

- ❖ Philpotts A, (1989): Petrography of Igneous and Metamorphic Rocks; **Prentice Hall**, New Jersey.

- ❖ Pierre – Simon R, Jébrak M, Walter B, (2001): Discharge of Hydrothermal Fluids from a Magma Chamber and Concomitant Formation of a Stratified Breccia Zone at the Questa Porphyry Molybdenum Deposit, New Mexico; **Economic Geology**, Vol.: 97, págs: 1679 – 1699.

- ❖ Ponce D, Glen J, (2002): Relationship of Epithermal Gold Deposits to Large – Scale Fractures in Northern Nevada”, **Economic Geology**, Vol. 97, Págs: 3 – 9.

- ❖ PRODEMINCA, (2000): Depósitos Epitermales en La Cordillera Andina; **Evaluación de los Distritos Mineros Del Ecuador**, Vol. II, Págs.: 33 – 113.

- ❖ PRODEMINCA, (2000): Potencial Minero Metálico y Guías de Exploración; **Evaluación de los Distritos Mineros Del Ecuador**, Vol. I, Págs.: 37, 114.

- ❖ Proffett J, (2003): Geology of the Bajo de la Alumbrera Porphyry Copper – Gold Deposit, Argentina; **Economic Geology**, Vol. 8, Págs: 1535 – 1574.

- ❖ Reed M, (1993): Origin of Diverse Hidrotermal Fluids by Reaction of Magmatic Volatiles with Wall Rock; **Bulletin of Geological Survey of Japan**, N° 279, págs: 135 – 140.

- ❖ Rivadeneira M., Baby P. (1999): Los Principales Campos de Petroproducción: Estilo Tectónico, Etapas de Deformación y Características Geológicas, **Convenio Petroproducción – IRD**, Quito, págs.: 7.

- ❖ Rose A y Burt D, (1969): Hydrothermal Alteration; Wiley – Interscience, Canadá, págs: 173 – 199.

- ❖ Sawkins F, (1990): Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics; **Springer – Verlag**, Segunda edición, Berlín.

- ❖ Sillitoe R (1994): Erosion and collapse of volcanoes. Causes of telescoping in intrusion – centered ore deposits; **Geology**, vol. 22, págs. 945 – 948.

- ❖ Sillitoe R, (1991): Epithermal Models: Genetic Types, Geometrical Controls and Shallow Features; England, págs: 403 – 417.

- ❖ Sillitoe R, (1992): Gold and Copper Metallogeny of the Central Andes – Past, Present and Future Exploration objectives; **Economic Geology**, Vol. 87 SEG Distinguished Lecture, pág: 2205 – 2216.

- ❖ Sillitoe R, (2000): Gold – Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and Their Role in Exploration and Discovery; **SEG Reviews**, Vol. 13, págs: 315 – 345.

- ❖ Spikings R, Seward D, Winkler W, Ruiz G, (2000): Low – temperature thermochronology of the northern Cordillera Real, Ecuador: Tectonic insights from zircon and apatite fission track analysis; **Tectonics**, Vol. 19.

- ❖ Tittley S, Thompson R, Haynes F, Manske, Robinson L, White J, (1986): Evolution of Fractures and Alteration in the Sierrita – Esperanza Hydrothermal System, Pima County, Arizona; **Economic Geology**, Vol. 81, págs: 343 – 370.

- ❖ Toro J, Jaillard E: Proveniencia de los Sedimentos Clásticos del Cretácico Superior al Eoceno Medio de la Cordillera Occidental del Ecuador, Quito, **en impresión**.

- ❖ Torres R, (2005): Informe técnico de Exploración Geológica en el Área Minera “La Ercilia”; **EDESA S.A**, Quito, págs: 12.

- ❖ Townley B, “Hidrotermalismo”, **Geología Económica**, Departamento de Geología, Universidad de Chile, **En impresión**.

- ❖ Van Thournout F, Hertogen J, Quevedo L, (1991): Allochthonous terranes in northwestern Ecuador; **Elsevier**, Amsterdam.

- ❖ Vega D, (2003): Geología, Alteración y Mineralización de la zona entre Gualleturo y San Antonio, Provincia de Cañar; **Tesis de Grado**, Escuela de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Geológica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, pág: 120, anexo IV.

- ❖ Wallrabe – Adams H, (1990): Petrology and geotectonic development of the Western Ecuadorian Andes: the Basic Igneous Complex; **Tectonophysics**.

- ❖ White N, Hedenquist J (1995): Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration; **SEG Newsletter**, Num. 23, págs: 9 – 13.

- ❖ White N, Hedenquist J, (1989): Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes and guidelines for exploration; **Elsevier Science**, Amsterdam.

- ❖ Winchell A, Zebrowski C, Sourdat M, (1989): Los Paisajes Naturales del Ecuador; **CEDIG**, Tomo IV, Volumen II, Quito.