

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“EVALUACIÓN DE AMENAZAS GEODINÁMICAS EN EL ENTORNO
DE LA ACTIVIDAD MINERA EN LA CONCESIÓN MINERA PALACIOS”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Geología

Presentado por:

CRISTHIAN VINICIO SÁNCHEZ PADILLA

ANDRES JOSÉ SÁNCHEZ ZAMBRANO

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Todo lo alcanzado, hasta el momento, se lo debo a ustedes familia. Vinicio, Verónica, Carlitos y Fiorelita son el motor de mi vida. A Sheyla y Danilo por el apoyo incondicional a mi padre.. Papi Carlos, mamita Alida, abuelita Flor y abuelito Padilla, gracias por inculcarme valores con mucho amor y con el ejemplo.

A Paúl C. y Jorge R. porque cada día aprendo algo nuevo de ustedes, son mis mentores, y los aprecio tanto como a mi familia.

A todos los amigos que me dieron la mano cuando más lo necesitaba, de corazón me han ayudado a crecer como persona y profesional.

C. S.

DEDICATORIA

El proyecto se lo dedico a mis padres Stalin y Helen que siempre me apoyaron y dieron facilidades para ahora cumplir esta meta, siempre estaré agradecido con ellos.

A mis hermanos que siempre han estado dispuestos a ayudarme en todo momento.

A mis amigos, profesores y personas que he conocido en la universidad y han cambiado mi vida para siempre, dándome apoyo para seguir superándome día a día.

Andrés Sánchez

AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento a la familia CIPAT; a Gaby, Andrea, Don Carlos, Josué, al Paúl Carrión, Roberto Blanco, Jorge Romero y Fernando Morante quienes con su amplia experiencia en investigación, geología y geomecánica ayudaron con retroalimentación para el desarrollo eficiente del proyecto.

A nuestra alma máter, ESPOL, por formarnos como profesionales de excelencia.

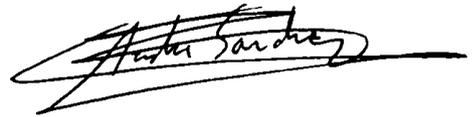
A la Empresa BIRA S.A. por brindarnos facilidades durante las diversas excursiones de campo, al Ing. Oscar Loor por estar siempre dispuesto a ayudar y velar por nuestra seguridad en las instalaciones de la empresa.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Cristhian Vinicio Sánchez Padilla* y *Andrés José Sánchez Zambrano* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

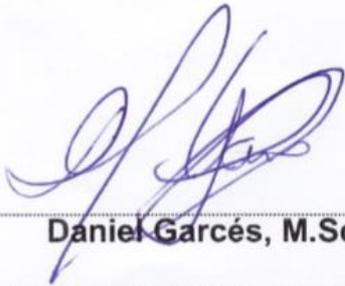


Cristhian Vinicio
Sánchez Padilla



Andrés José
Sánchez Zambrano

EVALUADORES



Daniel Garcés, M.Sc,

PROFESOR DE LA MATERIA



Paúl Carrión Mero, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Zaruma cuenta con relieves de pendientes altas, a cotas que van de 600 a 1500 msnm, por la naturaleza de su geomorfología tiende a ser susceptible a deslizamientos. Los estudios realizados en este sector son importantes para preservar y proteger el patrimonio cultural sin olvidar el patrimonio geológico-minero que ha sido de relevancia para el desarrollo de su población.

El aumento del área de exclusión en Zaruma se ha efectuado por diferentes sucesos de subsidencia, los cuales han sido provocados por la minería ilegal. Varios puntos estratégicos para la empresa BIRA S.A. han sido clausurados, deteniendo la producción de varios frentes, y afectando económicamente a los beneficiarios directos e indirectos a la actividad minera.

Este estudio tiene como objetivo evaluar las zonas de amenazas, mediante una propuesta metodológica que consiste en un análisis geomecánico en subterráneo y susceptibilidad al deslizamiento para la diferenciación de afectaciones por actividad minería u otro agente externo en superficie.

En subterráneo se realizan evaluaciones geomecánicas por los métodos de Barton y Laubscher mientras que en superficie se aplican criterios de varios autores para la zonificación de susceptibilidad.

Los resultados obtenidos, muestran de “aparente no influencia” a “influencia media” por actividad minera con respecto a las afectaciones en superficie. De las que se hace un enfoque de tres zonas críticas con calificación de influencia media, analizando los resultados en superficie y en subterráneo.

Palabras Clave: Geomecánica, Susceptibilidad, Amenazas, Actividad minera.

ABSTRACT

Zaruma has reliefs of high slopes, at 600 to 1500 masl, because of the nature of its geomorphology tends to be susceptible to landslides. The studies carried out in this sector are important for preserving and protecting the cultural heritage without forgetting the geological-mining heritage that has been of relevance for the development of its population.

The raise of the exclusion area in Zaruma has been made by different subsidence events, which have been caused by illegal mining. Several BIRA S.A. company's strategic points have been closed, stopping the production of several fronts, and economically harming the direct and indirect beneficiaries of the mining activity.

The aim of this study is to evaluate the threat zones, by means of a methodological proposal that consists of an underground geomechanical analysis and susceptibility to landslide for the differentiation of damages either by mining activity or another external agent on the surface.

In underground, geomechanical evaluations are carried out by the Barton and Laubscher methods, while on surface; criteria of several authors are applied for the susceptibility zoning.

The results obtained, show "apparent no influence" to "average influence" by mining activity with respect to surface damage. Of which three critical zones with qualification of average influence are focused for interpretation, analyzing the results in surface and underground.

Keywords: Geomechanics, Susceptibility, Threats, Mining activity.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
CAPÍTULO 1	12
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Generalidades	13
1.2 Descripción del problema	13
1.3 Justificación del problema.....	14
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo General	15
1.4.2 Objetivos Específicos	16
1.5 Zona de Estudio.....	16
1.6 Marco Geológico.....	17
1.6.1 Geología Regional.....	17
1.6.2 Distrito Zaruma-Portovelo	18
1.6.3 Geología Local	19
CAPÍTULO 2.....	22
2. METODOLOGÍA	22
2.1 Metodología General	23

2.2	Propuesta Metodológica Aplicada	24
2.2.1	Análisis de Susceptibilidad-Superficial	26
2.2.2	Análisis Geomecánico-Subterráneo	33
2.2.3	Discriminación de Causas	38
CAPÍTULO 3.....		40
3.	TRABAJO DE CAMPO Y PROCESAMIENTO.....	40
3.1	General	41
3.2	Levantamiento superficial	41
3.3	Levantamiento subterráneo	47
CAPÍTULO 4.....		52
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	52
4.1	Resultados de Levantamiento Superficial.....	53
4.2	Resultados de levantamiento subterráneo.....	54
4.3	Resultados de Discriminación de Causas por Actividad Minera.....	60
CAPÍTULO 5.....		70
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
5.1	Conclusiones	71
5.2	Recomendaciones	73
BIBLIOGRAFÍA.....		74
ANEXOS.....		77

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ARCOM	Agencia de Regulación y Control Minero
SGR	Secretaría de Gestión de Riesgos
SIG	Sistemas de Información Geográfica
PRODEMINCA	Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental
SD	Suceptibilidad al Deslizamiento
RQD	Rock Quality Designation
GSI	Geological Strength Index
SRF	Stress Reduction Factor
IRS	Intact Rock Strength
ISRM	International Society for Rock Mechanics
MRMR	Mining Rock Mass Rating
Z _s	Zonificación Superficial
Z _{Tx}	Zonificación Subterráneo
EG _x	Estación Geomecánica

SIMBOLOGÍA

ha	Hectáreas
m	Metro
Kg	Kilogramo
MPa	Mega pascal
N	Norte
S	Sur
E	Este
W	Oeste
msnm	Metros sobre nivel del mar

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de incremento de áreas de exclusión minera	14
Figura 1.2 Esquema justificación del problema.....	15
Figura 1.3 Ubicación de la zona de estudio	17
Figura 1.4 Mapa de distritos mineros y ubicaciones de fallas y subdivisiones metalotectónicas. Fuente: Modificado de (PRODEMINCA, 2000).	18
Figura 1.5 Mapa Geológico del área de estudio, y perfil geológico A-A'. Fuente: (Morante, 2018)	21
Figura 2.1 Metodología General del Proyecto	23
Figura 2.2 Propuesta Metodológica para Evaluación de Peligros y Amenazas Geodinámicas por Actividad Minera	25
Figura 2.3 Diagrama de índice geológico de resistencia (Hoek & Marinos, 2000).....	34
Figura 2.4 Diagrama dado por (Laubscher, 1975) para la obtención del IRS en macizos heterogéneos.	35
Figura 3.1 Fotos tomadas en campo de diferentes estaciones con sus características más relevantes: a, deslizamiento; b, meteorización; c, plano de fractura; y d, escombrera.	42
Figura 3.2 Mapa de Ubicación de las estaciones del levantamiento superficial general.	43
Figura 3.3 Obtención de RQD en tramos de sondajes, reconociendo el tipo de litología y su nivel de fracturación.	44
Figura 3.4 Estaciones de análisis por susceptibilidad a deslizamiento	45
Figura 3.5 Estaciones de susceptibilidad con los diferentes parámetros medidos. ...	46
Figura 3.6 Estaciones Geomecánicas	48
Figura 3.7 Tendencia de fracturamiento en estación geomecánica.....	49
Figura 3.8 Cálculo de techo en estaciones geomecánicas.	49
Figura 3.9 Fortificaciones en túneles.	50
Figura 4.1 Zonificación de susceptibilidad al deslizamiento con las estaciones del respectivo estudio	54
Figura 4.2 Zonificación-Evaluación Geomecánica aplicando Barton.	55

Figura 4.3 Zonificación-Evaluación Geomecánica aplicando Laubscher.....	57
Figura 4.4 Superposición de mapas de zonificación subterránea y mapa de zonificación superficial. (Zt= Zonificación subterráneo. Zs= Zonificación superficial)	61
Figura 4.5 Índice de Influencia de Actividad Minera con respecto a Afectaciones en Superficie.....	62
Figura 4.6 Paredes alteradas, con roca frágil en el sector A, correspondiente a la estación E20 realizada en los trabajos susceptibilidad al deslizamiento en superficie	64
Figura 4.7 Paredes con roca frágil en el sector A, correspondiente a la estación E.G 20 realizada en los trabajos en subterráneo.	64
Figura 4.8 Zona de derrumbe que queda en el sector B, correspondiente a la estación EG19.....	65
Figura 4.9 Estación E7, corte de antigua entrada a una mina.	66
Figura 4.10 Plantaciones de eucaliptos favoreciendo a la estabilización de la zona, plantados por la empresa BIRA S.A.	66
Figura 4.11 Zonas de presencia de agua en el sector C, correspondiente a la estación EG8.....	67
Figura 4.12.- Fortificaciones de hierro y madera en excavaciones.	68
Figura 4.13 Vista en perfil de techo y geometría de excavación.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores asignado al parámetro litología en roca. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).	26
Tabla 2.2 Valores asignado al parámetro Calidad del Suelo. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).	26
Tabla 2.3 Valores para el parámetro Morfometría. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).	27
Tabla 2.4 Valores para el parámetro Estructuras. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).	27
Tabla 2.5 Valores para el parámetro Discontinuidades. Fuente: (Nicholson & Hencher, 1997). Modificado por (Blanco, 2015).	28
Tabla 2.6 Valores para el parámetro Presencia de Agua. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).	28
Tabla 2.7 Valores para el parámetro Cobertura Vegetal. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).	29
Tabla 2.8 Valores para el parámetro de Acción Sísmica. (Blanco, 2015).	30
Tabla 2.9 Valores para el parámetro Grado de Deterioro (suelo). Fuente: (Phillipson & Brand, 1985). Modificado por (Blanco, 2015).	30
Tabla 2.10 Parámetros principales y puntuación asignada a cada uno en macizos rocosos	31
Tabla 2.11 Parámetros principales y peso asignado en suelo.....	31
Tabla 2.12 Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento para suelos.....	32
Tabla 2.13 Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento para rocas.	32
Tabla 2.14 Calificación cuantitativa de RQD (Deere & Deere, 1988).....	33
Tabla 2.15 Grado de meteorización (BROWN & ISRM, 1981)	35
Tabla 2.16 Calidad de la Roca según Índice Q (Barton, Lien, & Lunde, 1974).....	37
Tabla 2.17 Calificación cualitativa del Macizo Rocosos según MRMR (Laubscher, 1975).	38
Tabla 2.18 Resultados de discriminación de deslizamientos por actividad minera....	38
Tabla 3.1. Valores del RQD obtenidos en muestras de testigos.....	44
Tabla 3.2 Estaciones de macizo rocoso, valores de parámetros y el total.....	46

Tabla 3.3 Estaciones de suelo, valores de parámetros y el total.	47
Tabla 3.4 Datos Obtenidos en Levantamiento Subterráneo de Túneles.....	51
Tabla 4.1 Valoración Final y Observación-Levantamiento Superficial.	53
Tabla 4.2 Valoración Final-Levantamiento Subterráneo (Método Barton)	56
Tabla 4.3 Resultados-Levantamiento Subterráneo (Método Laubscher).....	58
Tabla 4.4 Valoración Final-Levantamiento Subterráneo (Método Laubscher)	59
Tabla 4.5 Cuadro comparativo de los métodos aplicados	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Carta de Autorización-BIRA S.A.	78
Anexo 2. Tabla de logueo realizado al sondaje ddh-26. CIPAT-ESPOLTECH.....	79
Anexo 3. Tabla de logueo realizado al sondaje DDH-28-S. CIPAT-ESPOLTECH.....	80
Anexo 4. Tabla de logueo realizado al sondaje DDH-03-S. CIPAT-ESPOLTECH.....	80
Anexo 5. Propiedades Físicas de Laboratorio (CIPAT-ESPOLTECH).....	84
Anexo 6. Tabla de rangos de parámetros para el cálculo del índice Q (Barton, Lien, & Lunde, 1974).....	95
Anexo 7. Tabla de rangos de parámetros para el cálculo de MRMR (Laubscher, 1975).	96
Anexo 8. Plano Topográfico-Bira S.A.	97
Anexo 9. Plano de Túneles-Bira S.A.....	98
Anexo 10. Resumen de las estaciones realizadas con sus respectivas descripciones	99
Anexo 11. Ubicación y cota de las estaciones de Susceptibilidad al Deslizamiento.	102
Anexo 12. Estaciones Geomecánicas levantadas en Túneles	102

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La empresa minera BIRA S.A. se ha visto afectada por los cambios constantes de las zonas de excepción minera emitida por el Ministerio de Minería a través de ARCOM; desde el año 2015 a 2017. En enero del 2017 el ministerio de minería por el acuerdo N° 2017-002, en su artículo 2 decide ampliar la zona de exclusión, la cual fue delimitada desde el año 2015 con un área inicial de 105 hectáreas a una más grande de 173 hectáreas. A pesar de estas medidas de seguridad, el 15 de septiembre del 2017 el gobierno dictaminó un Estado de Excepción en el área minera Portovelo-Zaruma, y otra vez renovando el Estado de Excepción el 15 de noviembre del 2017. Donde finalmente, después de presentado varios informes por parte de la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), el Ministerio de Minería el 14 de diciembre del 2017 mediante acuerdo N° 2017-038, amplió la zona de exclusión a un área de 215 Ha.

Unas de las zonas mineras afectadas por esta nueva área de exclusión minera es el área minera "Palacios", código 158 de la empresa BIRA; ubicada en el cantón Zaruma, provincia de El Oro. La concesión minera "Palacios", cuya área es de 70.36 hectáreas, es afectada con casi 27.28 Ha, casi un 25% del total de su área, por efecto de la zona de exclusión minera actual.

1.2 Descripción del problema

El área de exclusión ha incrementado desde el año 2015 a 2017 (Figura 1.1), afectando a la empresa BIRA S.A, haciendo que lugares estratégicos como la boca mina principal sean clausurados, perjudicando la producción, por lo tanto a los trabajadores, propietario y personas que se benefician directa e indirectamente de esta actividad. La empresa argumenta que los estudios realizados son generalizados y no con los suficientes argumentos técnicos para incluir dicho aumento dentro de sus concesiones.

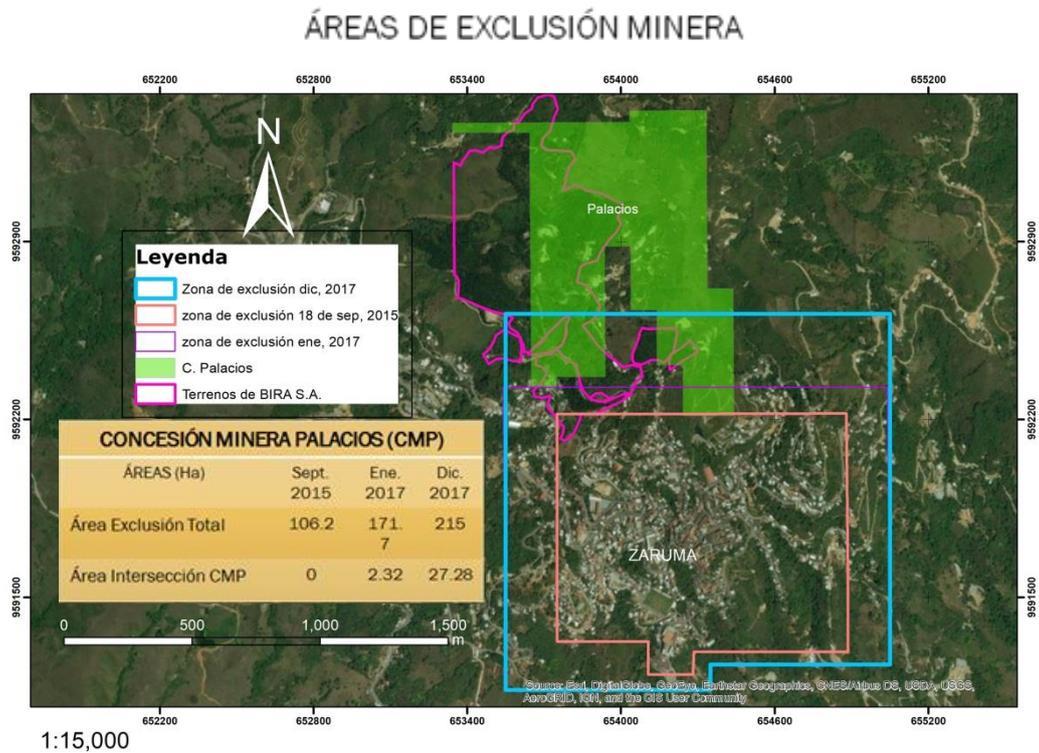


Figura 1.1. Mapa de incremento de áreas de exclusión minera

1.3 Justificación del problema

La magnitud del riesgo de los desastres naturales depende de la amenaza y del grado de vulnerabilidad de la población, los cuales no pueden considerarse de manera independiente; es decir, la amenaza no existe sin que un elemento presente vulnerabilidad ante ella, y viceversa (Chardon 2002). Zaruma se encuentra en un marco de susceptibilidad a deslizamiento perenne por sus condiciones geomorfológicas que por naturaleza influyen en el área. En el marco de protección a la ciudad patrimonial y a las constantes amenazas que se presentan a través de la minería informal, es necesario aplicar esta discriminación de causas mediante el estudio planteado en este proyecto. Al realizar un estudio geomecánico y de susceptibilidad a deslizamiento, se pretende dar como resultado si la zona en la cual no se puede trabajar, realmente es de peligro o no, ya que este aumento ha provocado una paralización de trabajo, de generar recursos, y se conoce que muchos trabajadores que residen en Zaruma también han migrado a otras zonas mineras como en Buenos Aires, Imbabura. Esto evidencia un perjuicio económico de gran impacto para los mineros y sus familias, además que la minería genera

gastos externos, como por ejemplo compra de suministros, como baterías, focos, botas, entre otras cosas, donde los comercializadores de estos productos también se ven afectados indirectamente.

BIRA S.A. por su parte ha participado en programas de reforestación en los terrenos que les pertenece, constantemente apoya a las capacitaciones de su personal y de sus familiares, cuenta con un plan de recuperación de escombreras y taludes, puesto que, a partir de este trabajo la empresa contará con una base técnica desde el punto de vista geomecánico y de estabilidad para que junto con otros estudios como ambientales, de aguas, y patrimonio, sirva como justificación para debatir qué porcentaje de la concesión que le pertenece no merece ser excluida.

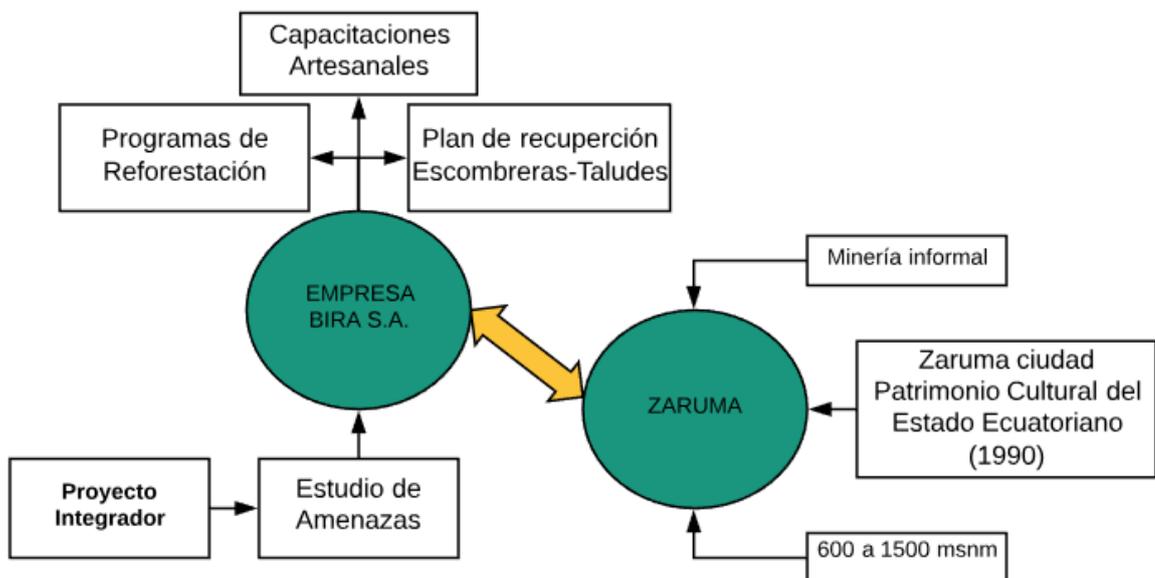


Figura 1.2 Esquema justificación del problema.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar las zonas de amenazas, mediante una propuesta metodológica de análisis geomecánico y susceptibilidad al deslizamiento para la diferenciación de afectaciones por actividad minería u otro agente externo.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Analizar las zonas de la concesión minera Palacios en superficie, mediante estudios de susceptibilidad a deslizamientos para la zonificación de estabilidad.
2. Interpretar los análisis geotécnicos de muestras tomadas en campo, considerando los resultados obtenidos de los ensayos y clasificando el tipo de material que se encuentra en la zona para su utilización en las diferentes metodologías a emplear.
3. Caracterizar las excavaciones de la concesión minera Palacios, mediante estudios de evaluación geomecánica para la determinación de la estabilidad de los macizos rocosos.
4. Relacionar los datos obtenidos en superficie y subsuelo mediante la comparación y asociación de evidencias para la discriminación de afectaciones por actividad minera.

1.5 Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada al Sur del Ecuador en la provincia de El Oro; específicamente al norte del cantón Zaruma, donde se encuentra el área de la concesión minera Palacios (Figura 1.3).

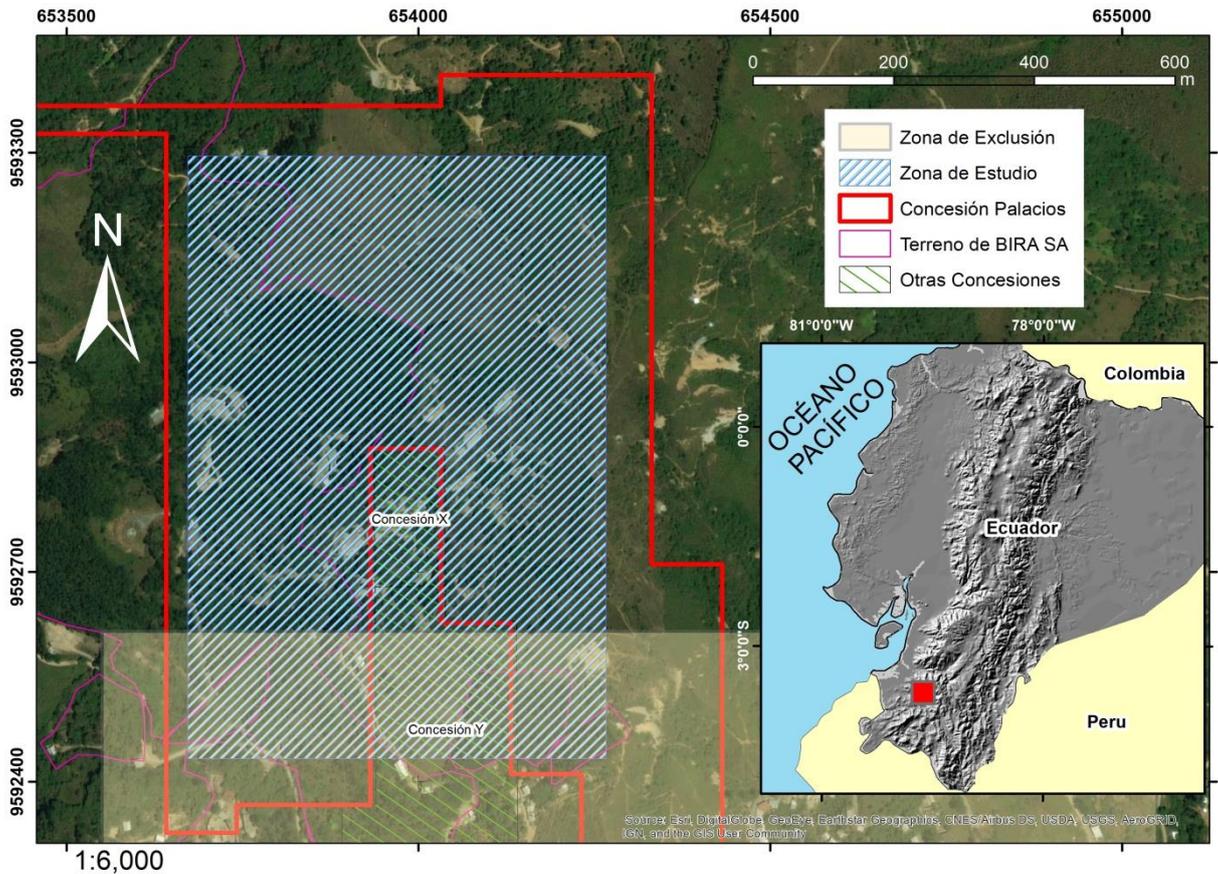


Figura 1.3 Ubicación de la zona de estudio

1.6 Marco Geológico

1.6.1 Geología Regional

Al Sur de la Cordillera Occidental, se encuentra ubicada la faja de mineralización aurífera-polimetálica Zaruma-Portovelo (Mutti & Bonilla, 2005). (PRODEMINCA, 2000) indica que los distritos Pucará-Alausí al Noreste y el distrito Zaruma-Portovelo al Suroeste, son subdistritos del distrito Azuay.

Los límites de ésta zona son: Al Norte el Campo Mineral Molleturo, al Este la mega estructura regional Peltelec, la cual se prolonga hasta la zona oriental del distrito Zaruma-Portovelo tomando el nombre de la falla Girón, y al Sur la falla Piñas-Portovelo con orientación Noroeste-Sureste (Figura1.4).

La falla Peltelec refleja una acreción de materiales pertenecientes al Cretácico. Mientras que la falla Piñas-Portovelo relaciona la colisión continente-continente durante el Jurásico-Cretácico (Litherland, Aspden, & Jemielita, 1994).

Al Suroeste la geología es representada por unidades (Unidad El Toro y rocas metamórficas del Complejo Metamórfico El Oro) con edades del Paleozoico-Triásico en el área de Chaucha y Tahuín, en Loja unidades con edad Cretácicas (Unidad Chiguinda y Unidad Pallatanga) y rocas pertenecientes al Terciario (Unidad Macuchi), por último la superficie se encuentra cubierto por depósitos volcánicos provenientes de la actividad volcano-efusiva junto a representantes de la actividad magmática plutónica terciaria (Bonilla, 2009).

Al Sur del área afloran rocas pertenecientes al Cretácico marino (Grupo Alamor, Formación Zapotillo y Formación Ciano) que colindan con las series metamórficas del Complejo Metamórfico El Oro (Bonilla, 2009).

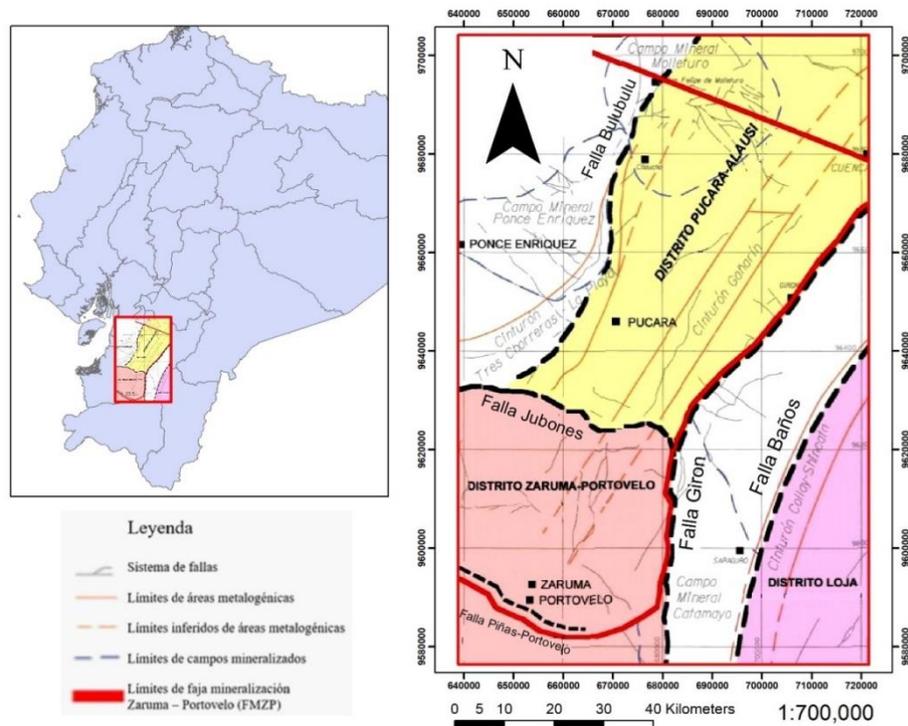


Figura 1.4 Mapa de distritos mineros y ubicaciones de fallas y subdivisiones metalotectónicas. Fuente: Modificado de (PRODEMINCA, 2000).

1.6.2 Distrito Zaruma-Portovelo

Nuestra zona de estudio se encuentra dentro del distrito Zaruma-Portovelo, consiste en un sistema de vetas de 15 kilómetros de largo que se encuentra inmediatamente al Norte de la Falla de Piñas, una estructura regional importante que separa un terreno metamórfico al Sur de otro terreno volcánico Terciario al

Norte. Las rocas metamórficas, subparalelas a la Falla Piñas-Portovelo, muestran que esta estructura representa una sutura datada como Jurásico hasta principios del Cretácico (Aspden, Bonilla, & Duque, 1995).

La mineralización de Zaruma-Portovelo está alojada en vulcanitas intermedias a silíceas de la recientemente definida Unidad Portovelo (Pratt, Figueroa, & Flores, 1997) que se encuentra fallada contra las rocas metamórficas del Sur a lo largo del Sistema de Fallas Piñas-Portovelo y que se superpone discordantemente sobre el Complejo Metamórfico de El Oro.

1.6.3 Geología Local

Dentro de la zona de estudio superficialmente en su mayoría hay grandes capas de suelo, los cuales iban de 2 a más de 10 metros de espesor, generalmente las rocas que más se observan son tobas riolíticas y saprolitos. En las partes más altas afloran tobas riolíticas, las que cuales se las podía encontrar alteradas en algunos puntos. En la parte Sur, cerca del área perteneciente a Toscón Blanco se encontró en la parte más baja afloramientos de andesitas.

La geología realizada en subterráneo en el nivel Q $\frac{1}{2}$ a 1184 m.s.n.m. en los tramos de crucero Gaby, crucero Nicole, el tramo principal que corta Vizcaya .se encuentra andesitas, andesitas porfiríticas y pequeños tramos donde hay microdioritas. En el nivel P a 1444 m.s.n.m. se puede encontrar andesitas porfiríticas y andesitas; y en el nivel P $\frac{3}{4}$ a 1170 m.s.n.m. hay un pequeño tramo donde aflora dioritas.

En Mina Alta, a 1318 m.s.n.m., hacia al Este y en las partes de mayor profundidad con respecto a la superficie afloran andesitas porfiríticas, intrusivos dioríticos y .algunas zonas de tobas. Más al Oeste, casi a la entrada de la mina se encuentra roca menos dura, tobas, algunas medianamente deterioradas.

Lo que corresponde a la parte estructural de la zona, superficialmente no se pudo encontrar tendencias de estructuras, por las grandes capas de suelo o roca deteriorada. En subterráneo se obtuvo la información estructural más importantes, correspondientes a planos de fracturas, diaclasas, planos de fallas y vetas. Con ayuda de estos datos se estima que la tendencia de las estructuras tienen un comportamiento de Suroeste-Noreste, también existen tendencias en dirección

opuesta pero de menor rango de influencia. Generalmente las vetas (Elizabeth, Vizcaya, Gaby y Nicole) dentro de la zona tienen rumbo Norte con buzamiento hacia el Este.

La información geológica fue corroborada y complementada con ayuda de sondeos realizados por la empresa BIRA S.A. (Anexo 1), DDH-26 (Anexo 2), DDH-28-S (Anexo 3), y DDH-03-S (Anexo 4) y por el mapa de la geología local (Figura 1.5) realizado en el proyecto Estudios de la Zona de Exclusión Minera en los Cantones Zaruma-Portovelo: Caso concesiones mineras Esperanza II y Palacios-Apartado Geológico (Morante, 2018)

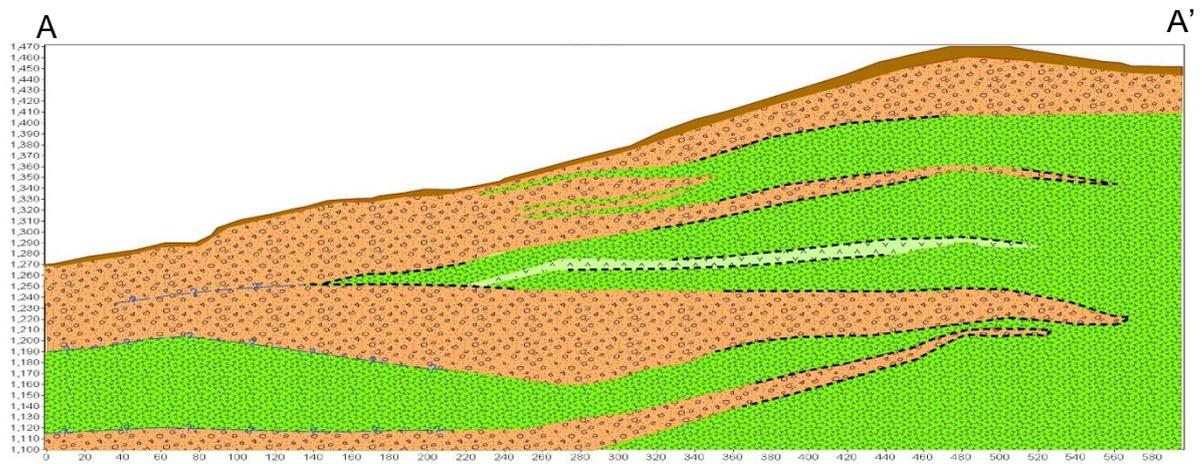
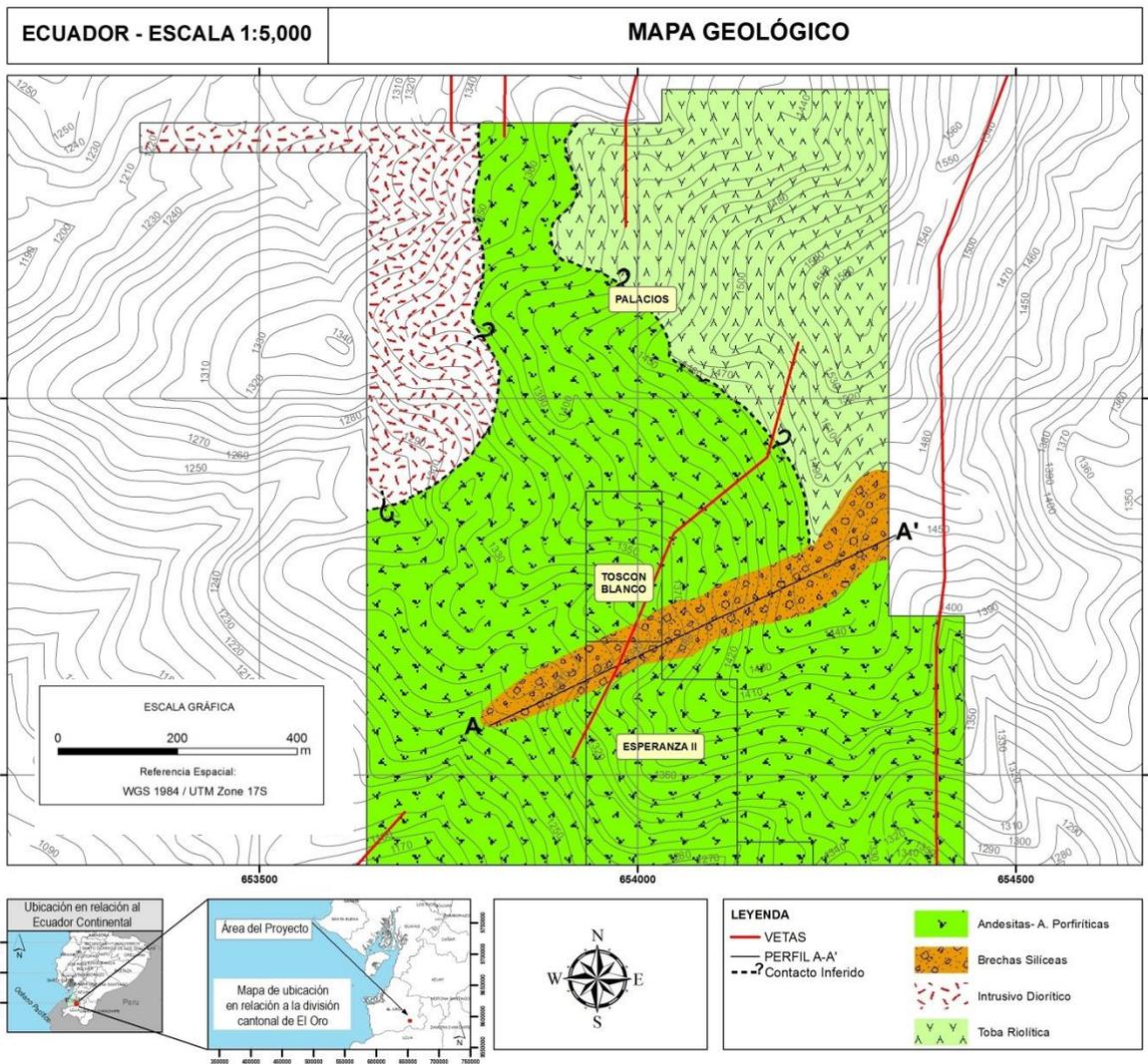


Figura 1.5 Mapa Geológico del área de estudio, y perfil geológico A-A'. Fuente: (Morante, 2018)

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Metodología General

El trabajo de tesis parte principalmente de un esquema metodológico general (Figura 2.1). Se empieza con la recopilación de información que incluye, datos de pozos de sondaje, topografía; informes facilitados por la empresa BIRA S.A., unos realizados por sus técnicos y otros emitidos por Secretaría de Riesgos, Ministerio de Minería, entre otras entidades públicas. Asimismo se cuenta con trabajos de tesis en el área.

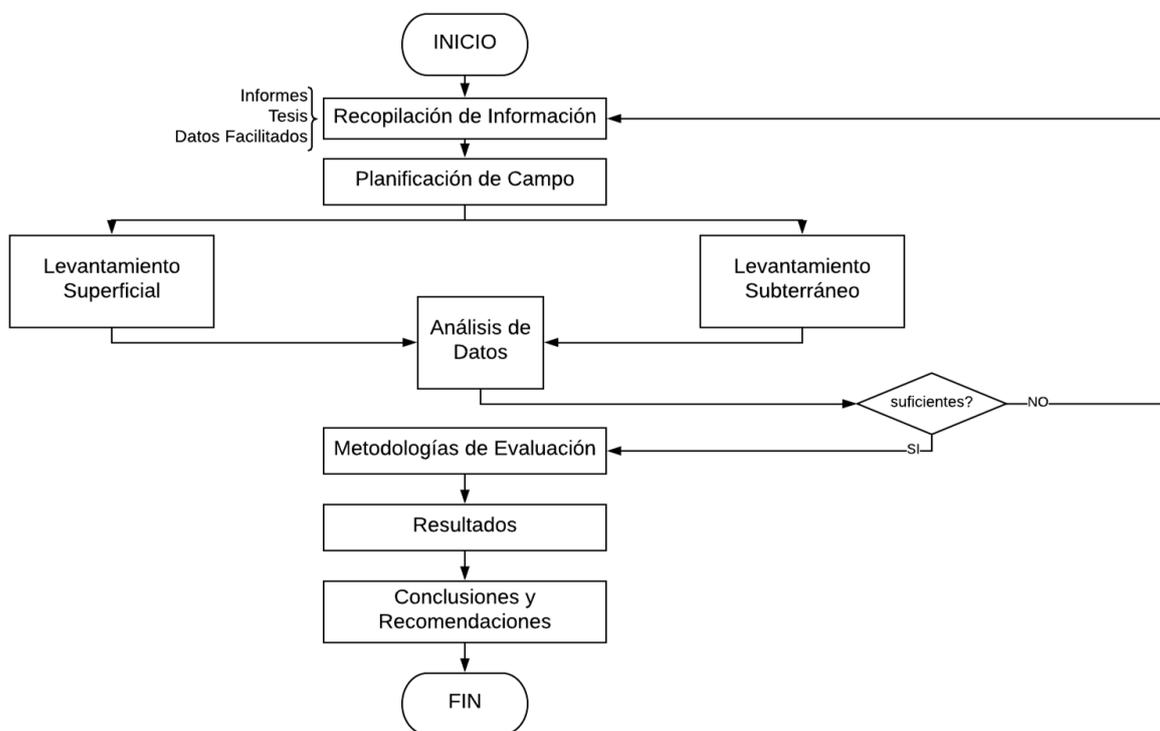


Figura 2.1 Metodología General del Proyecto

En esta fase se destaca la importancia de una investigación, estudio teórico referente a las técnicas y métodos que se utilizarán en campo para el cálculo in situ de propiedades de las rocas.

La siguiente etapa corresponde a la planificación preliminar de salidas de campo, se ha establecido campañas de campo tanto superficial como en túneles, luego de la recopilación de información se analizan los datos obtenidos y de contar con la suficiente información, se procede a aplicar las evaluaciones descritas en la

propuesta metodológica para este trabajo, que se encuentra resumida en la Figura 2.2.

Entre los resultados obtenidos se encuentran los mapas de zonificación que pretenden explicar el comportamiento del terreno, dado el previo análisis en la superficie y en las excavaciones. Finalmente se establecen las conclusiones del trabajo para la recomendación de medidas y criterios de acuerdo a los resultados finales.

2.2 Propuesta Metodológica Aplicada

La propuesta metodológica nace por necesidad de los autores del presente trabajo, para integrar el estudio en túneles y el de superficie, con la finalidad de efectuar una discriminación de los deslizamientos que son causados por actividad minera de otros posibles factores.

Inicia de los datos de entrada que se dispongan, para este proyecto, la topografía de los túneles, curvas de nivel, testigos de perforación, y propiedades geotécnicas de algunas rocas fueron facilitadas (Anexo 5).

La siguiente fase se divide entre el levantamiento de campo en superficie y el de túneles. En los trabajos de superficie se colectan datos como litología o tipo de suelo, estructuras geológicas, presencia de agua, cobertura vegetal, grado de meteorización, y erosión. Se realiza un inventario de lugares representativos con indicios de inestabilidad, actividad minera y asentamientos urbanos, para al final ajustar el modelo obtenido en el post-procesamiento.

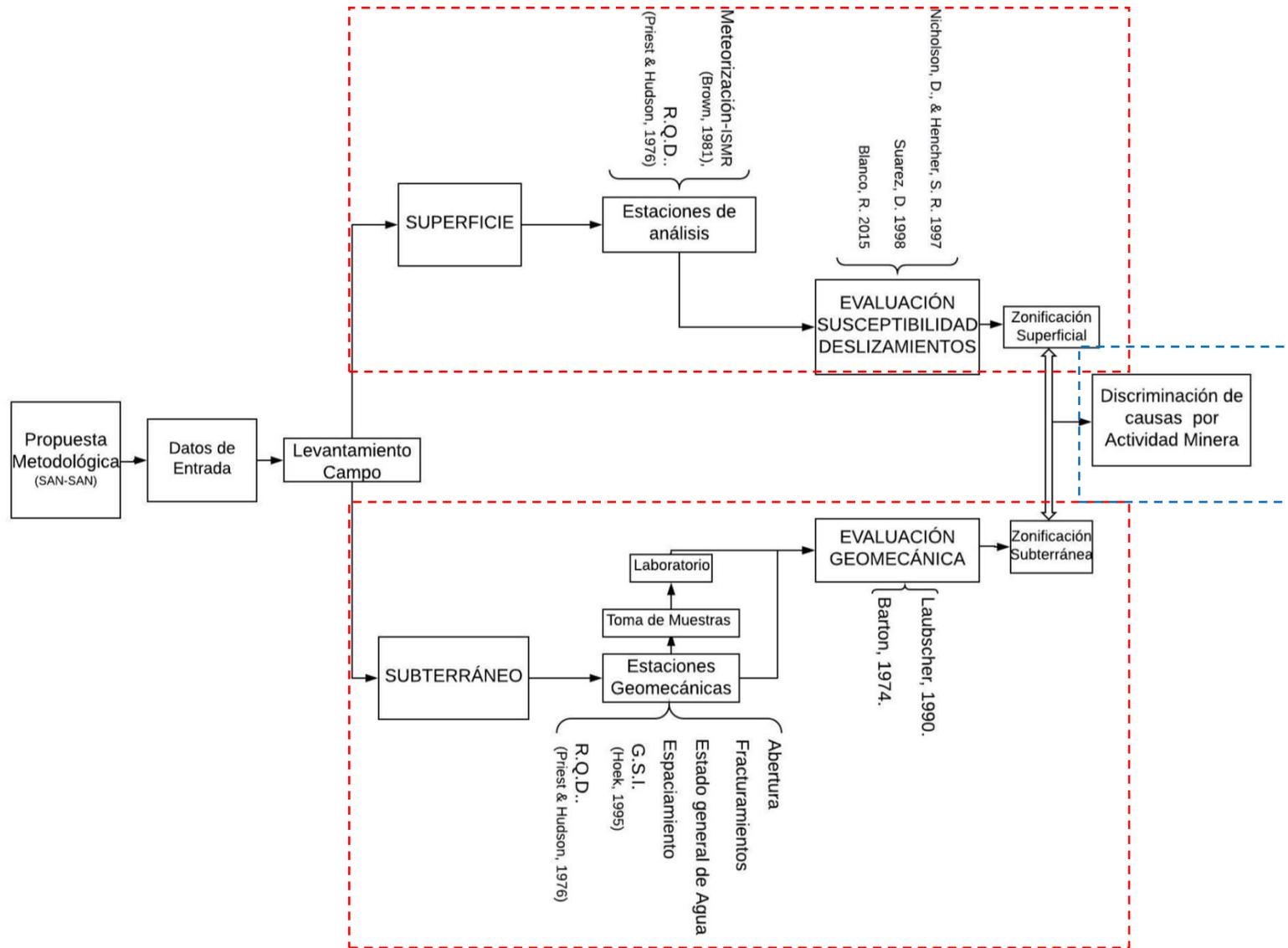


Figura 2.2 Propuesta Metodológica para Evaluación de Peligros y Amenazas Geodinámicas por Actividad Minera

2.2.1 Análisis de Susceptibilidad-Superficial

La susceptibilidad de deslizamientos, se la determina a partir de varios parámetros propuestos por (Ambalagan, 1992), (Nicholson & Hencher, 1997), y (Phillipson & Brand, 1985) que han sido compilados y aplicados en (Suárez Díaz, 1998). Que se describen a continuación.

2.2.1.1 Factor Litología y Calidad del Suelo

(Ambalagan, 1992) realiza una categorización para calidad de suelos y litología donde el peso depende de las propiedades físicas de cada material como su resistencia, porosidad y permeabilidad. La Tabla 2.1 y Tabla 2.2 muestra la valoración de materiales típicos.

Tabla 2.1 Valores asignado al parámetro litología en roca. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Características y estado de la roca	Peso
I	Roca sana, fuerte y competente	0.0
II	Roca algo meteorizada y/o con algún grado de fracturación	1.0
III	Roca deteriorada (tipo, saprolito) que conserva características de la matriz	2.0
IV	Saprolitos muy deteriorados	3.0
V	Suelos residuales muy erosionables	4.0

Tabla 2.2 Valores asignado al parámetro Calidad del Suelo. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Características y estado de la roca	Peso
I	Suelos de calidad, bien consolidados, prácticamente no erosionadas.	0
II	Suelos de mediana a alta calidad, poco erosionados.	1.0
III	Suelos tipos coluvial, arcilloso con poca humedad	2.0
IV	Suelos arenosos – arcillosos, húmedos, poco estable	3.0
V	Suelo residual	4.0

2.2.1.2 Factor Morfometría

Es la variable que se relaciona con la pendiente y forma en la que el terreno se presenta, por ejemplo es poco favorable que se tenga pendientes mayores a 45°. (Ambalagan, 1992) propone una ponderación de acuerdo a la pendiente de los taludes (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Valores para el parámetro Morfometría. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Características	Peso
I	Talud con muy poca pendiente	0
II	Talud con pendiente suave o mediana	1
III	Talud con pendiente media	2
IV	Talud con pendiente alta	3
V	Talud con pendiente muy grande	4

2.2.1.3 Factor Estructura Geológica

Relaciona la dirección de buzamiento y buzamiento de las capas con el talud del afloramiento, si estos se disponen a favor o en contra. También toma como parámetro el espesor, en el caso de tratarse de suelo. (Ambalagan, 1992) propone la categorización y ponderación para este parámetro mostrado en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Valores para el parámetro Estructuras. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Condiciones existentes	Peso
I	Posición del talud favorable con respecto a los planos de debilitamiento	0.5
II	Posición del talud algo favorable con respecto a los planos de debilitamiento	1.5–2.0
III	Los planos de debilitamiento favorecen al deslizamiento	2.5–3.0
IV	Los planos de debilitamiento crean condiciones muy favorables al deslizamiento	4.0

2.2.1.4 Factor Discontinuidad

Es evaluado según el espaciamiento de las discontinuidades en el macizo rocoso y las aberturas promedio de éstas. (Nicholson & Hencher, 1997) propone una categorización con su respectiva ponderación (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Valores para el parámetro Discontinuidades. Fuente: (Nicholson & Hencher, 1997). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Características existentes	Peso
I	Espaciamiento entre discontinuidades mayor que 2.0 m, aberturas menor que 0.1 mm (prácticamente cerradas). Discontinuidad no meteorizada.	0
II	Espaciamiento de 60 cm a 2.0 m, abertura de la discontinuidad de 0.1 a 0.5 m. Discontinuidad algo afectada	1
III	Espaciamiento de 20 cm a 60 cm, abertura entre 0.5 y 1.0 mm algo afectada.	2
IV	Espaciamiento de 6 cm a 20 cm, abertura de la discontinuidad de 1.0 a 5.0 mm. Afectada.	3
V	Espaciamiento entre discontinuidades menor que 6 cm, abertura mayor que 50mm. Afectada.	4

2.2.1.5 Factor Presencia de Agua

Indica la cantidad o influencia de agua que hay entre fracturas de macizos rocosos o suelo, es importante considerar este factor por su influencia detonante en grietas y planos de deslizamiento. De acuerdo a la clasificación descrita por (Ambalagan, 1992) se presenta en la Tabla 2.6 los pesos correspondientes a las variantes que se pueden encontrar en campo.

Tabla 2.6 Valores para el parámetro Presencia de Agua. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Características	Peso
I	No hay presencia de agua (ni superficial ni subterránea)	0

II	Muy poca acción de las aguas superficiales. Existe alguna influencia de agua subterránea.	0.5
III	Se produce una acción apreciable del agua superficial. Existe presencia de agua subterránea	1.0
IV	Existe una presencia significativa de agua superficial y de las aguas subterráneas. Existe empuje	2.0
V	Hay mucha influencia del agua superficial y de las aguas subterráneas. Se produce un empuje significativo.	3.0

2.2.1.6 Factor Cobertura Vegetal

Corresponde a la cantidad de vegetación encontrada en el terreno, este factor es fundamental para la determinación de posibles deslizamientos, mientras abundante sea la cobertura vegetal menos posibilidades tiene el terreno de ceder ante la acción del agua. (Ambalagan, 1992) propone una clasificación con la ponderación de cada variable (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Valores para el parámetro Cobertura Vegetal. Fuente: (Ambalagan, 1992). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Condiciones existentes	Peso
I	El talud o ladera está totalmente cubierto por una adecuada cobertura vegetal	0
II	El talud o ladera está en gran medida cubierto por una adecuada cobertura vegetal	0.5
III	El talud o ladera está solo parcialmente cubierto por una adecuada cobertura vegetal	1.5
IV	Existe poca cobertura vegetal	2.5
V	No existe ninguna cobertura vegetal, el talud está totalmente denudado.	3.0

2.2.1.7 Factor Acción sísmica

Es el efecto de movimientos sísmicos en la zona, los cuales pueden desencadenar varios efectos desestabilizadores, como deslizamientos, hundimientos, levantamientos de terreno, En la

Tabla 2.8 se describen las categorías según (Blanco R. , Estudios y Propuestas de Estabilización del Cerro Las Cabras, 2015).

Tabla 2.8 Valores para el parámetro de Acción Sísmica. (Blanco, 2015).

Categoría	Condiciones existentes	Peso
I	Prácticamente no existe sismicidad	0
II	Se considera muy baja acción sísmica $a_s = (0.2 \text{ a } 0.5)g$	1.0
III	Baja sismicidad $a_s = (0.5 \text{ a } 0.10)g$	2.0
IV	Se considera una mediana sismicidad $a_s = (0.10 \text{ a } 0.14)g$	2.5
V	Alta sismicidad $a_s = (0.14 \text{ a } 0.18)g$	3.5
VI	Muy alta sismicidad $a_s > 0.18 g$	4.0

2.2.1.8 Factor Grado de deterioro (suelo)

Corresponde al grado de meteorización y/o erosión que el terreno ha sufrido por acción de agentes como el agua y aire. (Phillipson & Brand, 1985) proponen una clasificación de acuerdo a la disposición del suelo y su grado de deterioro (Tabla 2.9).

Tabla 2.9 Valores para el parámetro Grado de Deterioro (suelo).

Fuente: (Phillipson & Brand, 1985). Modificado por (Blanco, 2015).

Categoría	Características de los suelos según el grado de erosionabilidad	Peso
I	Suelos que están prácticamente sin ser erosionados	0
II	Suelos con poca erosión	0.5
III	Suelos con una mediana erosión	1.0
IV	Suelos con un significativo proceso de erosión	2.0
V	Suelo erosionado	3.0
VI	Suelo muy erosionado	4.0

La configuración de las tablas de resultados ponderados (Tabla 2.10 y Tabla 2.11) se basa en criterios utilizados por expertos que se han referenciado a los mismos

autores mencionados en el párrafo anterior, para aplicarlos en proyectos como; “Estudios y Propuestas de Estabilización del Cerro Las Cabras” (Blanco, 2015), y “Estudios de la zona de exclusión minera en los cantones Zaruma-Portovelo: caso concesiones mineras Esperanza II y Palacios” (Blanco, 2018).

Tabla 2.10 Parámetros principales y puntuación asignada a cada uno en macizos rocosos

Parámetro Principal	Peso Susceptibilidad al deslizamiento (S.D)
Litología	Hasta 4.0
Estructura geológica	Hasta 4.0
Morfometría	Hasta 4.0
Discontinuidad	Hasta 4.0
Presencia de agua	Hasta 3.0
Cobertura vegetal	Hasta 3.0
Acción sísmica	Hasta 4.0
Grado de meteorización	Hasta 4
TOTAL SD	

Tabla 2.11 Parámetros principales y peso asignado en suelo

Parámetro Principal	Peso Susceptibilidad al deslizamiento (S.D)
Característica (calidad) del suelo	Hasta 4.0
Estructura geológica	Hasta 3.0
Morfometría	Hasta 4.0
Grado de deterioro (erosión – meteorización)	Hasta 4.0
Presencia de agua	Hasta 3.0
Cobertura vegetal	Hasta 3.0
Acción sísmica	Hasta 4.0
TOTAL SD	

Tanto para el análisis en suelos y en rocas, se realiza una suma de cada parámetro para obtener el valor de susceptibilidad al deslizamiento por cada

estación de análisis. Las Tablas 2.12 y 2.13 muestran la categoría y las condiciones cualitativas que representa esta suma.

Tabla 2.12 Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento para suelos.

Categoría	Grado de susceptibilidad	Observaciones
I	Susceptibilidad muy baja $SD < 5.0$	Condiciones estables.
II	Susceptibilidad baja SD entre 5 y 8	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.
III	Mediana susceptibilidad SD entre 8 y 12.	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
IV	Alta susceptibilidad SD entre 12 y 16	Condiciones potencialmente inestables.
V	Muy alta susceptibilidad $SD > 16$	Condiciones inestables.

Tabla 2.13 Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento para rocas.

Categoría	Grado de susceptibilidad	Observaciones
I	Susceptibilidad muy baja $SD < 5.0$	Condiciones estables.
II	Susceptibilidad baja SD entre 5 y 10	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.
III	Mediana susceptibilidad SD entre 10 y 15.	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
IV	Alta susceptibilidad SD entre 15 y 20	Condiciones potencialmente inestables.
V	Muy alta susceptibilidad $SD > 20$	Condiciones inestables.

Al final de esta fase se tendrá una recopilación de datos que se correlacionaran para obtener el nivel de amenaza en cada estación de análisis, mediante sistemas de información geográfica (SIG) se zonifica las amenazas a deslizamiento.

2.2.2 Análisis Geomecánico-Subterráneo

Para la evaluación de la estabilidad del macizo se aplica el índice Q propuesto por (Barton, Lien, & Lunde, 1974), y para la estabilidad en las excavaciones el MRMR de (Laubscher, 1975). A continuación se describen los criterios utilizados y la metodología a emplearse en cada evaluación.

2.2.2.1 Rock Quality Designation (RQD)

Según Deere & Deere, (1988) consiste en el porcentaje de núcleo de material recuperado respecto al que se ha perforado, válido para segmentos mayores a 10cm. Para su aplicación en campo se utiliza el número de discontinuidades por metro, λ , utilizando la expresión:

$$RQD = 100 \cdot e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1) \quad (1.1)$$

Donde la equivalencia según el valor obtenido corresponde a una calificación cualitativa mostrada en la tabla 2.14.

Tabla 2.14 Calificación cuantitativa de RQD (Deere & Deere, 1988)

RQD (%)	Calidad de la Roca
25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Normal
75-90	Buena
90-100	Muy Buena

2.2.2.2 Geological Strength Index (GSI)

(Hoek, 1994) y (Hoek, Kaiser, & Bawden, 1995) dieron a conocer por primera vez este criterio, el GSI es una forma de caracterizar la calidad de un macizo rocoso y permite estimar su resistencia. Para los trabajos de campo se utiliza el esquema mostrado en la Figura 2.3 el cual aproxima un valor teórico de acuerdo a lo que se dispone in situ.

		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					10
		N/A	N/A			

Figura 2.3 Diagrama de índice geológico de resistencia (Hoek & Marinos, 2000).

2.2.2.3 Stress Reduction Factor (SRF)

Propuesto por (Barton, Lien, & Lunde, 1974) para la obtención del índice Q-Barton. Es el parámetro que considera la influencia del estado tensional en el que se encuentra el macizo rocoso.

2.2.2.4 Intact Rock Strength (IRS)

(Laubscher, 1975) lo define como la resistencia a la compresión uniaxial (UCS) no confinada de la roca, ubicada entre las discontinuidades. El IRS es equivalente a la UCS si se analiza un macizo homogéneo. Para un macizo heterogéneo se considera la relación entre el UCS mayor y menor obtenido de laboratorio versus el porcentaje de roca débil encontrado en campo, utilizando el diagrama presentado en la Figura 2.4.

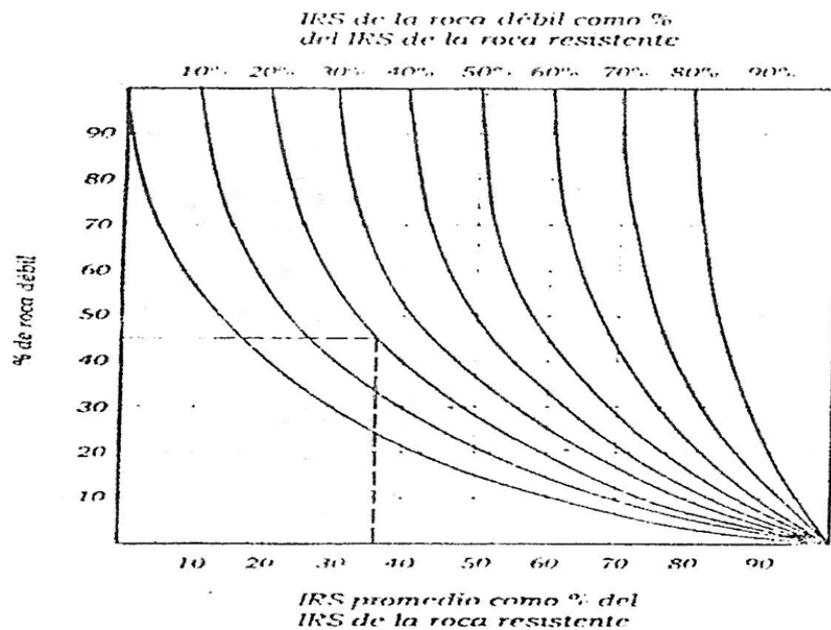


Figura 2.4 Diagrama dado por (Laubscher, 1975) para la obtención del IRS en macizos heterogéneos.

2.2.2.5 Grado de Meteorización (ISRM)

La meteorización es el proceso en el que la roca se va descomponiendo a encontrarse expuesta a diversos agentes atmosféricos, ya sea en superficie o cerca de ésta. Para el presente trabajo se procedió a detallar la meteorización de los diversos afloramientos, ya sea en superficie como en túneles con ayuda de la tabla propuesta por (BROWN & ISRM, 1981) (Tabla 2.15).

Tabla 2.15 Grado de meteorización (BROWN & ISRM, 1981)

Categoría	Descripción	Grado
Sano	Ningún signo visible de meteorización del material rocoso. Alguna ligera decoloración de las caras de las discontinuidades principales.	I
Ligeramente meteorizado	La decoloración indica la meteorización del material rocoso y las superficies de discontinuidad. Todo el material puede estar decolorado por la meteorización y podría ser algo más débil externamente, que en su estado sano	II

Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o transformado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un entramado discontinuo o como bolos.	III
Altamente meteorizado	Menos de la mitad del material rocoso se ha transformado en suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un entramado discontinuo o como bolos	IV
Completamente meteorizado	Todo material rocoso se ha descompuesto y/o transformado en suelo. La estructura del macizo original permanece prácticamente intacta.	V
Suelo residual	Todo el material rocoso se ha convertido en suelo. La estructura del macizo y la textura del material están destruidas. Existe un cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

2.2.2.6 Índice Q-Barton

(Barton, Lien, & Lunde, 1974) establecieron una clasificación del comportamiento geomecánico de las rocas a partir del índice Q. Esta clasificación utiliza la ecuación 2.1 a partir de seis parámetros que se obtienen a partir de levantamiento de campo en túneles existentes y permite emitir criterios para el dimensionamiento de nuevos túneles.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad (2.1)$$

RQD (Deere & Deere, 1988)

SRF (Barton, Lien, & Lunde, 1974)

J_r= Relaciona la continuidad y rugosidad de los planos de fractura.

J_n= Cantidad de sistemas de fracturas.

J_a= Relaciona la alteración y tipo de relleno de discontinuidades.

J_w= Humedad de los planos de fracturamiento.

En el Anexo 6 se describen los criterios con sus pesos respectivos para cada parámetro de evaluación.

De los índices obtenidos se puede establecer una calificación cualitativa del macizo a analizar (Tabla 2.16).

Tabla 2.16 Calidad de la Roca según Índice Q (Barton, Lien, & Lunde, 1974)

Q-Barton	Calificación Cualitativa
0.001-0.01	roca excepcionalmente mala
0.01-0.1	roca extremadamente mala
0.1-1	roca muy mala
1-4	roca mala
4-10	roca media
10-40	roca buena
40-100	roca muy buena
100-400	roca extremadamente buena
400-1000	roca excepcionalmente buena

2.2.2.7 Mining Rock Mass Rating (MRMR) de Laubscher

Determina la valoración de macizos rocosos incluyendo aspectos relacionados con minería fue propuesto por (Laubscher, 1975) y una varios parámetro para la valoración del macizo (RMR de Laubscher) al cual se ajustan criterios como tensiones inducidas por actividad minera, acción de las voladuras, deterioro de rocas expuestas y la orientación de discontinuidades. Mediante la suma ponderada de distintos parámetros y con las ecuaciones 2.2 y 2.3 se obtiene el valor MRMR.

$$RMR(valor\ in\ situ) = v(IRS) + \left[v\left(\frac{FF}{m}\right) \text{ ó } v(RQD + Js) \right] + v(C. D.) \quad (2.2)$$

$$MRMR = RMR * Cw * Co * Cs * Cb \quad (2.3)$$

IRS (Laubscher, 1975)

RQD (Deere & Deere, 1988)

FF/m= Frecuencia de Discontinuidades.

Js= Espaciado entre discontinuidades.

C.D.= Condición de las Discontinuidades.

Cw= Ajuste por meteorización.

Co= Ajuste por orientación de las discontinuidades.

Cs= Ajuste por tensiones inducidas.

Cb= Ajuste por efecto de voladuras

En el Anexo 7 se describen los criterios y rangos para cada parámetro.

De los valores de MRMR obtenidos se puede caracterizar cualitativamente el comportamiento del macizo (Tabla 2.17).

Tabla 2.17 Calificación cualitativa del Macizo Rocosó según MRMR (Laubscher, 1975).

MRMR	Calidad del Macizo
0-20	Muy mala
20-40	Mala
40-60	Regular
60-80	Buena
80-100	Muy Buena

2.2.3 Discriminación de Causas

Con todos los resultados obtenidos se tiene, finalmente, una zonificación superficial (Z_s) y dos en subterráneo (Z_{T1} y Z_{T2}), para su comparación y discriminación de actividad minera subterránea como causante de deslizamientos en superficie.

Tabla 2.18 Resultados de discriminación de deslizamientos por actividad minera

Z_{T1} ó Z_{T2}	Z_s	Resultado	Observaciones
Mala	Mala	3	1. Aparente no influencia por actividad minera.
Malo	Media	2	
Malo	Buena	1	2. Posible influencia media por actividad minera.
Media	Mala	2	
Media	Media	2	
Media	Buena	1	
Buena	Mala	1	

Buena	Media	1	3. Posible	alta
Buena	Buena	1	influencia	por
			actividad minera.	

Para realizar esta diferenciación se utiliza SIG utilizando criterios de superposición de capas en base a la Tabla 2.18 propuesta por los autores. En donde sugiere que los resultados que se obtienen en subterráneo son la variable independiente, y los de superficie son la variable dependiente. Por ejemplo, si en subterráneo el resultado es “bueno”, lo obtenido en superficie se considera con menos importancia puesto que las afectaciones que se puedan presentar superficialmente pueden corresponder a agentes antrópicos, drenaje, posición del talud, entre otras influencias, y de ser “malo” éste se considera en la categoría 1, como Aparente no influencia por actividad minera.

CAPÍTULO 3

TRABAJO DE CAMPO Y PROCESAMIENTO

3.1 General

El trabajo de campo y procesamiento de datos levantados se realizó por separado, en superficie y en subterráneo. Para realizar los trabajos de campos se ordenó la información proporcionada por la empresa BIRA S.A., esta información corresponde a plano topográfico (Anexo 8), plano de túneles (Anexo 9), ubicación de sondajes realizados anteriormente por BIRA S.A.

Los materiales utilizados tanto en superficie como en túneles son los siguientes:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| -brújula | -Botas |
| -cinta métrica | -Casco |
| -combo | -Linterna |
| -martillo geológico | -Guantes |
| -pintura | -Mascarilla |
| -machete | -Cámara Fotográfica |
| -GPS | |

3.2 Levantamiento superficial

En el recorrido inicial superficial para observar el comportamiento general de la zona de estudio se realizaron 72 estaciones, estas estaciones se las clasifíco en 5 categorías para una mejor visualización de datos, estos son: escombreras, meteorización o alteraciones (zonas donde se observó una mayor influencia de estos parámetros), planos de fracturas (no en todas las superficie se pudo tomar datos estructurales, por lo tanto clasificarlos por éste parámetro nos ayuda a observar mejor lo poco que se tiene en superficie) (Figura 3.1), posibles deslizamientos y otros (viviendas, bosques, presencia y filtración de agua, bocaminas, litología, tipo de suelo, zonas estables). En el Anexo 10 se observa los datos de las estaciones recopiladas, y en la Figura 3.2 la ubicación de las estaciones realizadas clasificadas por las categorías diseñadas.



Figura 3.1 Fotos tomadas en campo de diferentes estaciones con sus características más relevantes: a, deslizamiento; b, meteorización; c, plano de fractura; y d, escombrera.

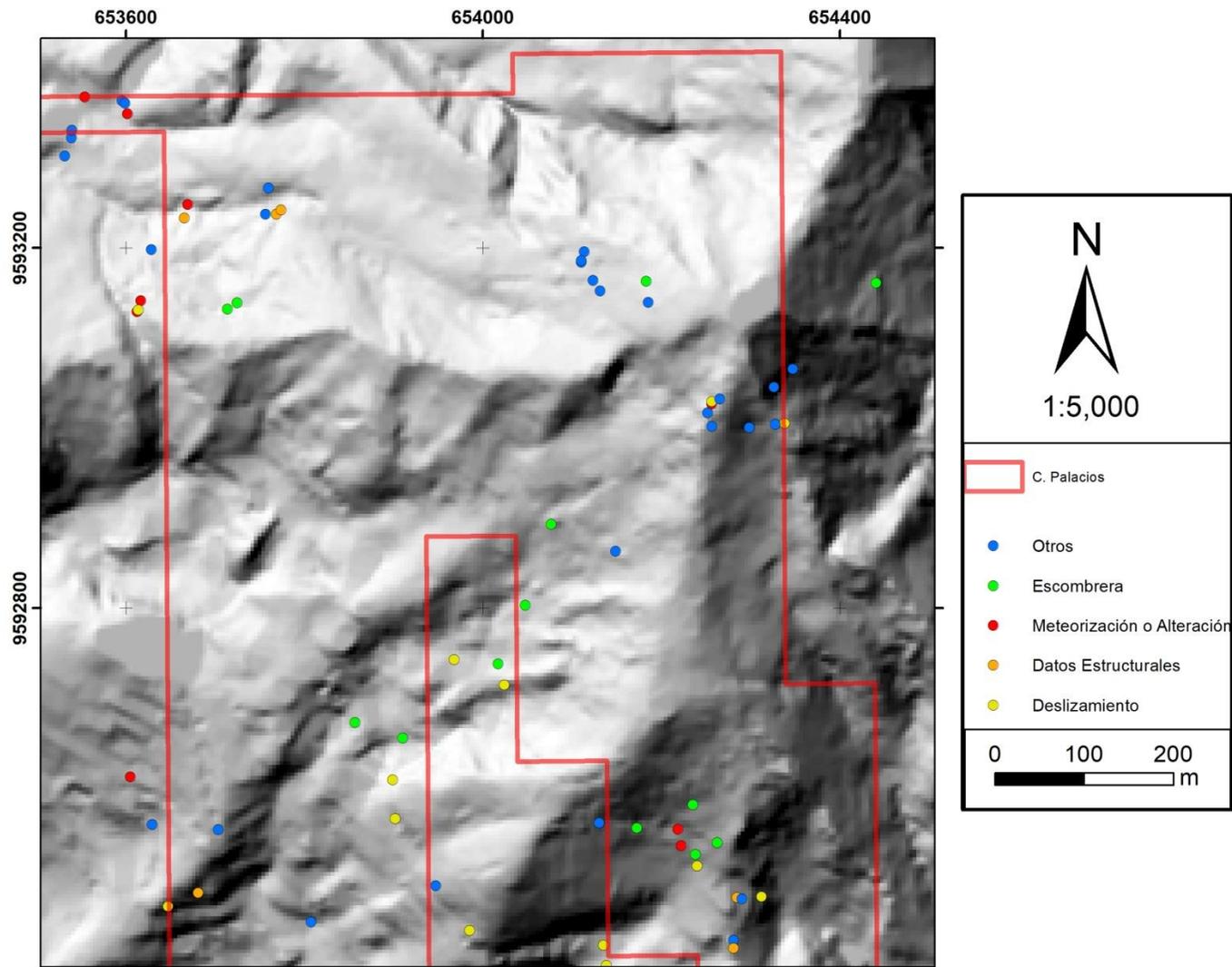


Figura 3.2 Mapa de Ubicación de las estaciones del levantamiento superficial general.

Se obtuvo valores de RQD en testigos que ya había realizado la empresa, el objetivo aquí fue seleccionar tramos de roca del mismo tipo, para obtener RQD para cada litología (Figura 3.3). En la Tabla 3.1 se observan los resultados.

Tabla 3.1. Valores del RQD obtenidos en muestras de testigos.

LITOLOGIA	RDQ	Calidad
brecha	51%	Aceptable
brecha con clastos de sílice no alterada	47%	Pobre
brecha	58%	Aceptable
brecha	67%	Aceptable
andesita porfirica alterada, de moderada a alta (propilítica)	55%	Aceptable
andesita porfirica fresca poco fracturada	87%	Buena
andesita porfirica fracturada	64%	Aceptable
ignimbrita andesíticas (tobas) no fracturadas	82%	Buena
ignimbrita andesíticas (tobas) fracturadas	26%	Muy pobre
andesita porfirica fresca	91%	Muy Buena
andesita basáltica	93%	Muy Buena
andesita porfirica fresca	89%	Buena
andesita porfirica fresca	86%	Buena
ignimbrita andesíticas (tobas) no fracturadas	88%	Buena
andesita porfirica fracturada	43%	Pobre
andesita basáltica	76%	Buena



Figura 3.3 Obtención de RQD en tramos de sondajes, reconociendo el tipo de litología y su nivel de fracturación.

Se realizaron 23 estaciones para análisis de susceptibilidad, como se observa en el Anexo 11, la ubicación de las estaciones se las puede observar en la Figura 3.4.

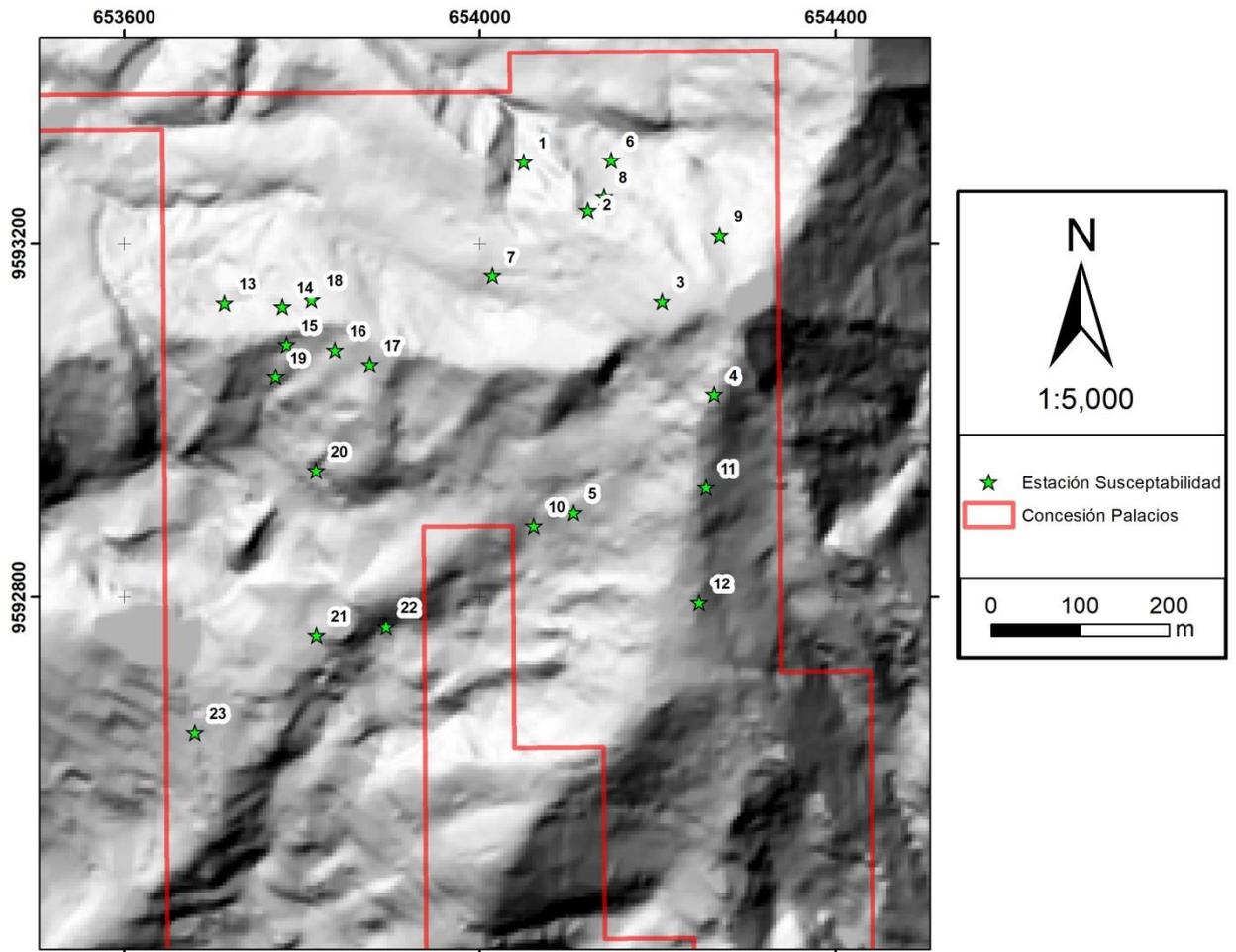


Figura 3.4 Estaciones de análisis por susceptibilidad a deslizamiento

Los valores para cada parámetro medido que nos da como resultado la susceptibilidad al deslizamiento de cada estación de macizo rocoso y suelo (Figura 3.5) se observa en la Tabla 3.2 y la Tabla 3.3 respectivamente.

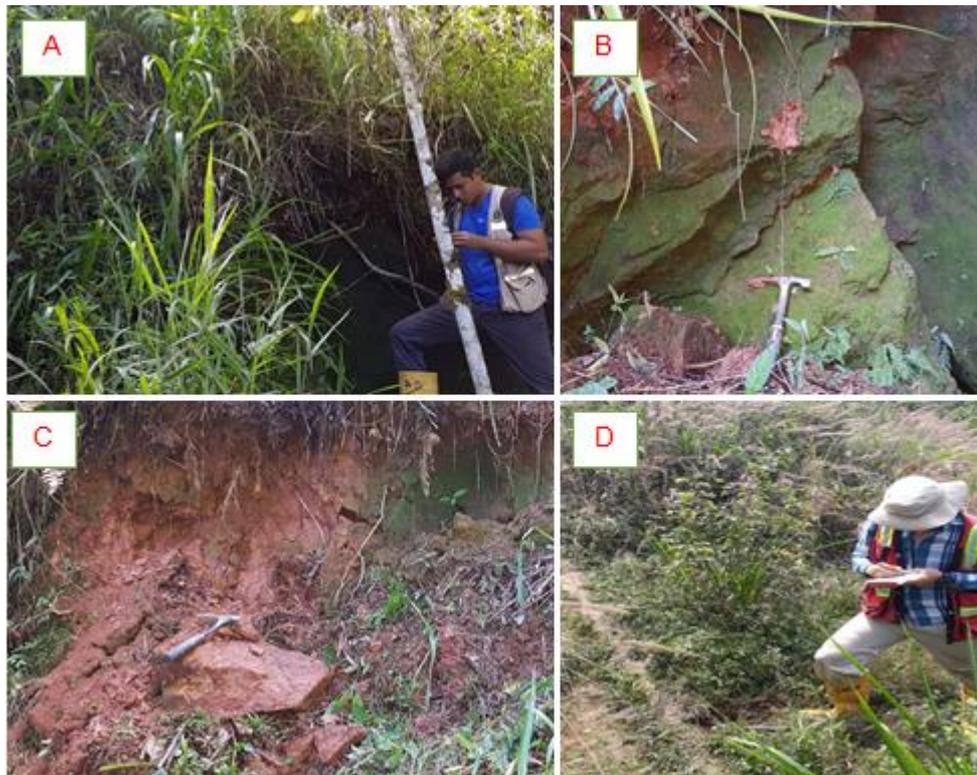


Figura 3.5 Estaciones de susceptibilidad con los diferentes parámetros medidos.
 A) cobertura vegetal; B) estructura geológica; C) meteorización y deterioro del suelo; y D) Estación tipo-suelo

Tabla 3.2 Estaciones de macizo rocoso, valores de parámetros y el total.

Estación \ Parámetro	Estación									
	1	2	3	4	5	15	20	21	22	
Litología	3	1	3	1	1	1	3	2	2	
Estructura geológica	1.5	0.5	1.5	2.5	0.5	2.5	0.5	2	0.5	
Morfometría	3	3	3	3	2	4	4	4	0	
Discontinuidad	2	3	2	2	1	2	3	1	0	
Presencia de Agua	0.5	0.5	0	0	0	0	2	0	0	
Grado de Meteorización	3	1	3	2.5	1	1	2.5	2	2	
Cobertura Vegetal	0.5	0.5	0.5	2.5	0.5	0.5	2.5	0	0	
Acción Sísmica	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
TOTAL (SD)	16.5	12.5	16	16.5	9	13	20.5	14	7.5	

Tabla 3.3 Estaciones de suelo, valores de parámetros y el total.

Estación	6	7	8	9	10	11	12	13	1	16	1	1	1	23
Parámetro									4		7	8	9	
Calidad del suelo	2	1	1	2	2	0	0	1	1	0	0	1	1	1
Estructura geológica	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Morfometría	3	3	3	3	2	1	0	2	2	4	4	2	2	1
Grado de deterioro	3	1	0.5	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0.
Presencia de agua	0	0	0.5	0	0	0.	0.	0	0	0.	0	0	0	0
Cobertura vegetal	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0.	0	0	0	0	0	0
Acción sísmica	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL (SD)	16	10.5	10.5	12.5	10.5	6.	5.	9.	1	9.	9	8	8	7.
						5	5	5	0	5				5

3.3 Levantamiento subterráneo

En el levantamiento de túneles se establecen estaciones geomecánicas que corresponden a macizos rocosos representativos en donde se realiza un análisis in situ entre ocho y diez metros de macizo, aquí se toman datos estructurales (Dip/D.Direction) de las discontinuidades, separación de juntas, tipo de relleno, abertura de juntas, grado de deterioro, disposición del agua en los planos, para la estimación de RQD y GSI.

Se realizaron diecisiete estaciones geomecánicas entre los niveles Q1/2, P y Mina Alta Anexo 12, la ubicación de las estaciones se las puede observar en la Figura 3.6.

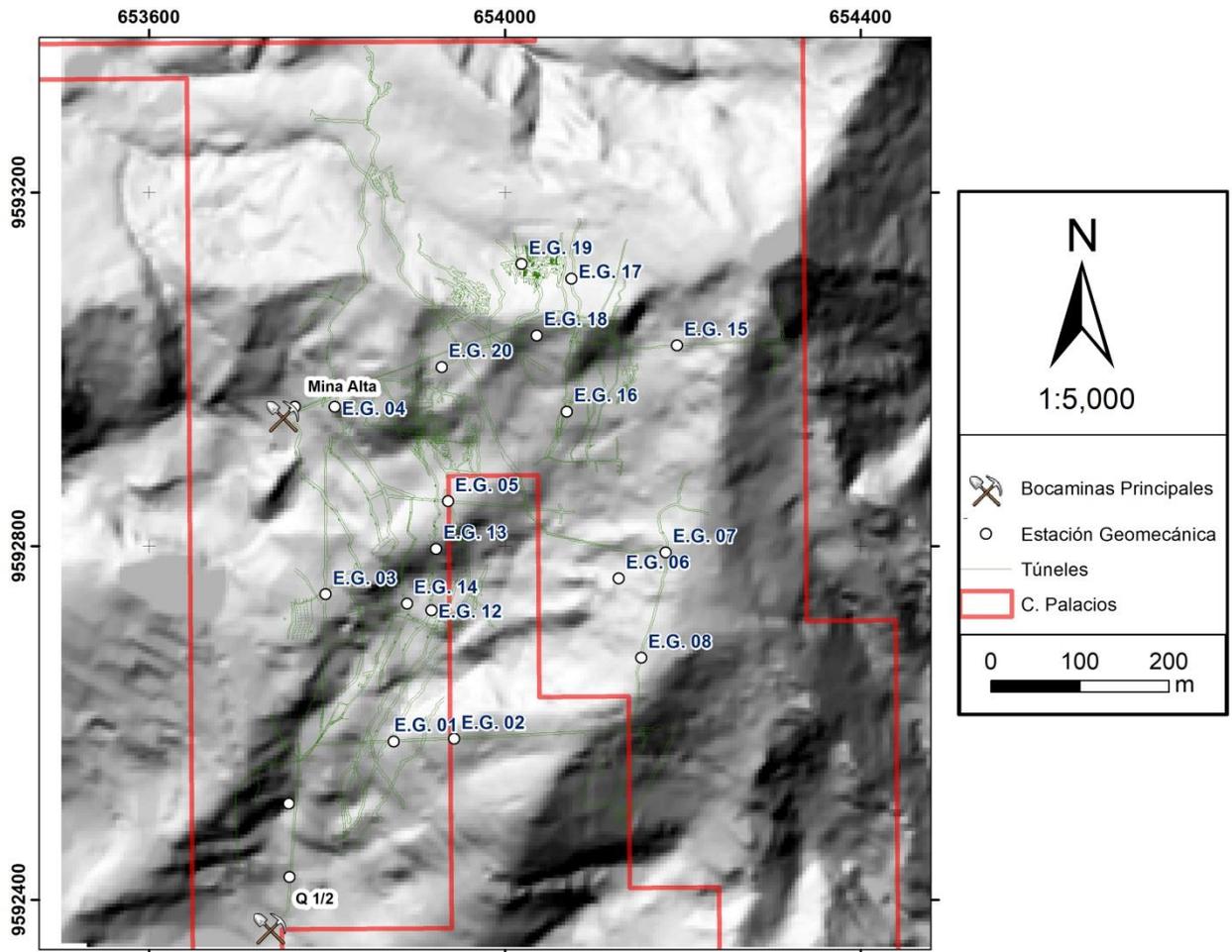


Figura 3.6 Estaciones Geomecánicas

De los datos estructurales tomados se realiza un análisis de tendencias de rumbos en todas las estaciones mediante diagramas de rosetas, estos datos permiten calificar parámetros de inclinación de las discontinuidades respecto a la excavación y el número tendencias de fracturas (N) encontradas en cada estación. Por ejemplo, en la Figura 3.7 la tendencia general del diagrama de rosetas sugiere un comportamiento bimodal hacia el N-S y E-W.



Figura 3.7 Tendencia de fracturamiento en estación geomecánica.

Con la ayuda de la topografía de túneles y las curvas de nivel en superficie se realiza el cálculo del techo que influye sobre la estación geomecánica a evaluar (Figura 3.8).

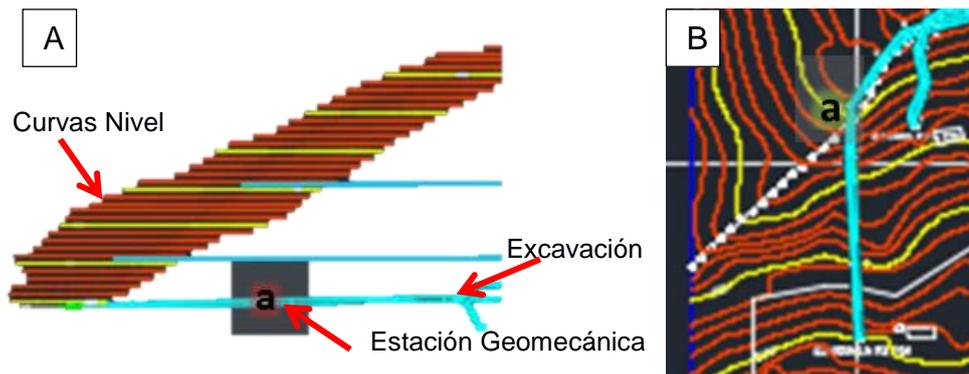


Figura 3.8 Cálculo de techo en estaciones geomecánicas.

La Tabla 3.4 muestra la información colectada in situ de cada estación geomecánica. En la Figura 3.9 muestra los tramos de túneles que presentan fortificaciones.

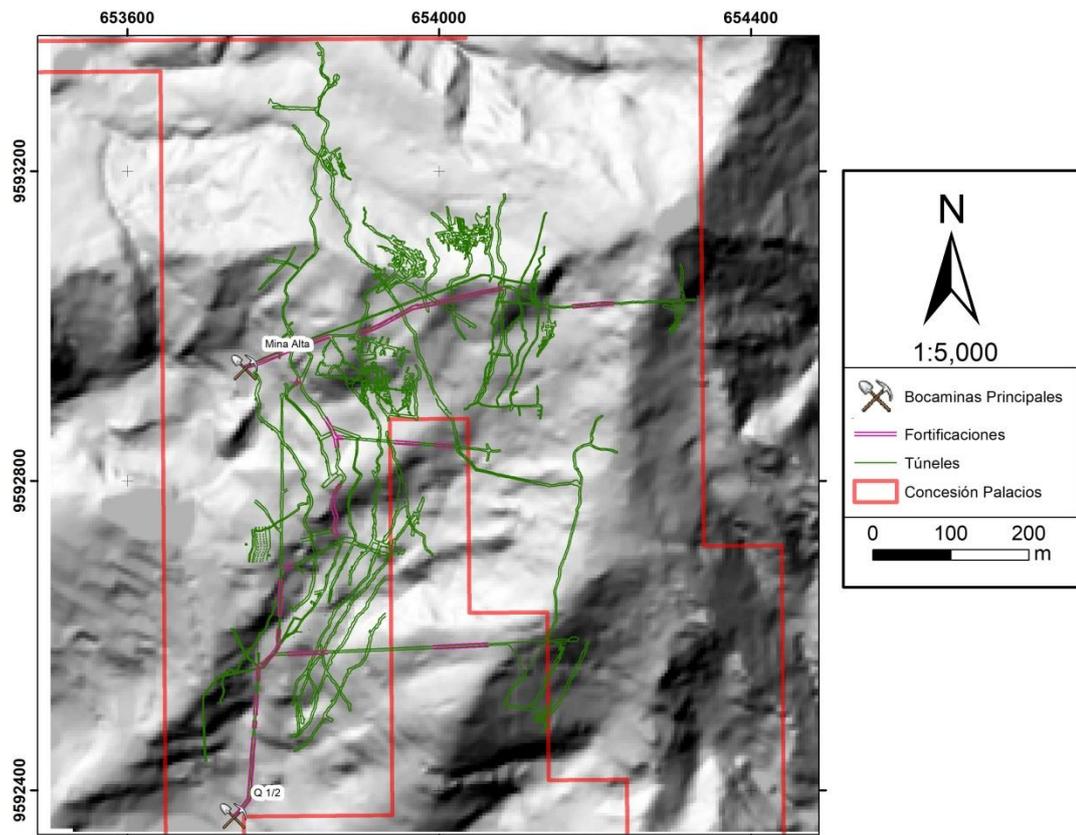


Figura 3.9 Fortificaciones en túneles.

Tabla 3.4 Datos Obtenidos en Levantamiento Subterráneo de Túneles

	LITOLOGÍA	Fisuras /m	RQD	GSI (%)	Estructuras	Ab (mm)	E (cm)	-AGUA
E.G. 01	Andesita	3.67	94.72%	75	Fracturas: N325/43, N148/77, N83/68, N152/69, N115/60	3a5	34.5	seco
E.G. 02	Microdiorita	3.13	96.02%	55	Fracturas: N222/48, N149/88, N151/85, N211/77 x3, N132/42 x3.	2a3	51.6	ligeramente húmedo
E.G. 03	Andesita	5.25	90.21%	75	Fracturas: N194/41, N04/20, N135/67, N185/81, N88/77, N314/71. Veta: N290/23	3a5	27.9	seco
E.G. 04	Andesita	5.13	90.60%	55	Fracturas: N28/72, N105/71, N317/62, N162/38, N93/74, N132/15. Falla Normal N45/69 e40NE	2a3	22.1	ligeramente húmedo
E.G. 05	Microdiorita	7.50	82.66%	65	Fracturas: N345/73, N242/53, N51/71, N163/67, N293/60	2a3	16.0	goteando
E.G. 06	Andesita	3.00	96.31%	55	Fracturas: N144/76, N50/54, N239/60, N121/78, N110/49. Veta cuarzo: N51/25	3a6	35.1	goteando
E.G. 07	Microdiorita	3.80	94.37%	75	Fracturas: N118/57, N44/84, N245/36, N130/74, N160/69. Veta cuarzo: N100/23	<=1	30.4	goteando
E.G. 08	Andesita	5.25	90.21%	55	Fracturas: N22/34, N143/60, N225/40, N191/78. Vetillas de cuarzo: N84/30 12cm abertura	1a2	29.9	fluyendo
E.G. 12	Andesita con dique diorítico	7.13	83.98%	45	Fracturas: N118/64. Grieta: N04/53 espaciamiento12cm. Veta: N85/65, espaciamiento23cm.	3a5	19.583	goteando
E.G.13	Andesita Porfirítica	4.22	93.24%	35	Fracturas: N245/50, N87/55, N29/74. Falla Normal: N315/65 e40SW. Planos Conjugados: N86/89 y N149/39	3a5	19.9	fluyendo
E.G. 14	Diorita	3.67	94.72%	55	Fracturas: N257/35, N121/53, N116/75. Veta fallada: N133/49	2a3	24.6	ligeramente húmedo
E.G. 15	Toba Riolítica	9.00	77.25%	55	Fracturas: N101/70, N214/34, N355/45, N224/70(X3), N210/44 (X4)	2a3	21.5	seco
E.G. 16	Andesita Porfirítica	7.86	81.39%	50	Fracturas: N54/60(x6), N176/72(x2), N224/34(x3), N87/57(X2), N239/48 (X3), N90/58 (X7)	3a5	26.2	goteando
E.G. 17	Intrusivo Diorítico	5.75	88.63%	55	Fracturas: N107/51(x3), N211/51(x7), N332/75(x2), N152/60(X4). VETA (X20) N75/32	1a2	18.0	fluyendo
E.G. 18	Intrusivo Diorítico	8.50	79.07%	55	Fracturas: N235/45(x6), N169/68(x3), N265/84(x3), N223/69(X2), N176/75 (X6)	1a3	22.0	goteando
E.G. 19	Andesita Porfirítica	6.00	87.81%	55	Fracturas: N134/58(x5), N187/43(x7), N354/33(x4), N57/42(X4). VETA PRINCIPAL (X30) N50/20	3a2	13.9	fluyendo
E.G. 20	Toba Riolítica	7.14	83.92%	40	Fracturas: N214/75(x4), N180/76(x4), N266/43(x3), N270/71(X6)	1a2	16.8	ligeramente húmedo

Ab= Abertura. E= Espaciado.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados de Levantamiento Superficial

Los resultados se presentan en categorías de acuerdo al grado de susceptibilidad, con la observación resultante para cada estación, la Tabla 4.1 muestra lo obtenido tanto para macizos rocosos como para suelo.

Tabla 4.1 Valoración Final y Observación-Levantamiento Superficial.

Parámetro	Estación	Grado de susceptibilidad	Categoría de susceptibilidad	Observación
Macizo rocoso	1	16.5	IV	Condiciones potencialmente inestables.
	2	12.5	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	3	16	IV	Condiciones potencialmente inestables.
	4	16.5	IV	Condiciones potencialmente inestables.
	5	9	II	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.
	15	13	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	20	20.5	V	Condiciones inestables.
	21	14	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	22	7.5	II	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.
Suelo	6	16	IV	Condiciones potencialmente inestables.
	7	10.5	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	8	10.5	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	9	12.5	IV	Condiciones potencialmente inestables.
	10	10.5	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	11	6.5	II	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.
	12	5.5	II	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.
	13	9.5	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	14	10	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	16	9.5	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	17	9	III	Condiciones preponderadamente estables. Debe haber un monitoreo sistemático.
	18	8	II	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.
19	8	II	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.	
23	7.5	II	Condiciones estables. Debe existir monitoreo.	

El mapa de susceptibilidad al deslizamiento (Figura 4.1) se lo obtuvo de las estaciones (Figura 3.4) realizadas y además para un mejor ajuste en el área de estudio se lo

completo añadiendo los sectores con mayor seguridad (muros de contención, drenaje, estabilidad por vegetación)

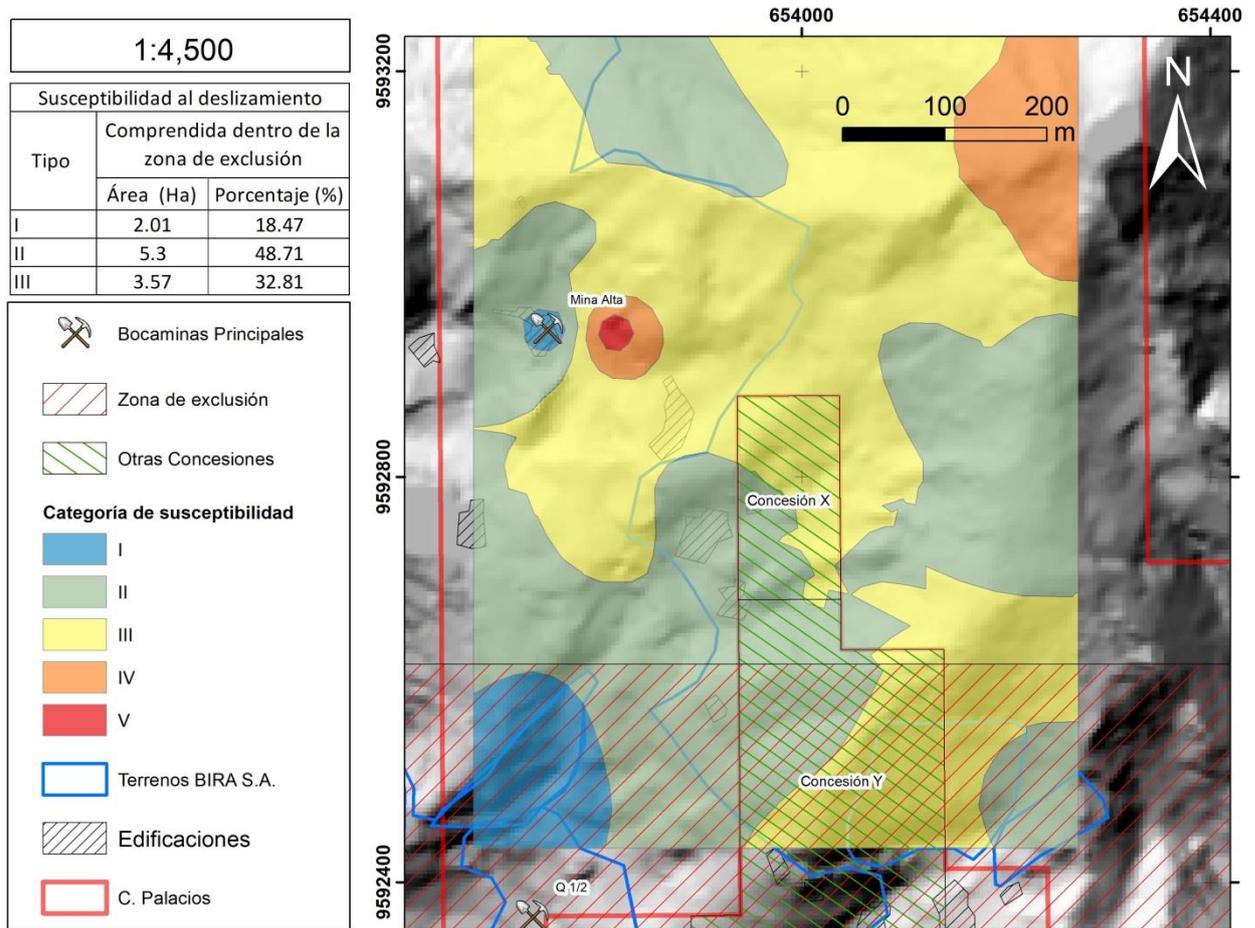


Figura 4.1 Zonificación de susceptibilidad al deslizamiento con las estaciones del respectivo estudio

4.2 Resultados de levantamiento subterráneo

Aplicando los métodos de valoración geomecánica se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.2 para el método de (Barton, Lien, & Lunde, 1974) donde se muestran los principales parámetros a utilizarse, la valoración y el índice obtenido para cada estación de análisis. La Figura 4.2 muestra la zonificación de acuerdo a los resultados obtenidos para este método. Además se completó la zonificación agregándole puntos de ajuste donde se observaron mejores condiciones de seguridad en bocaminas.

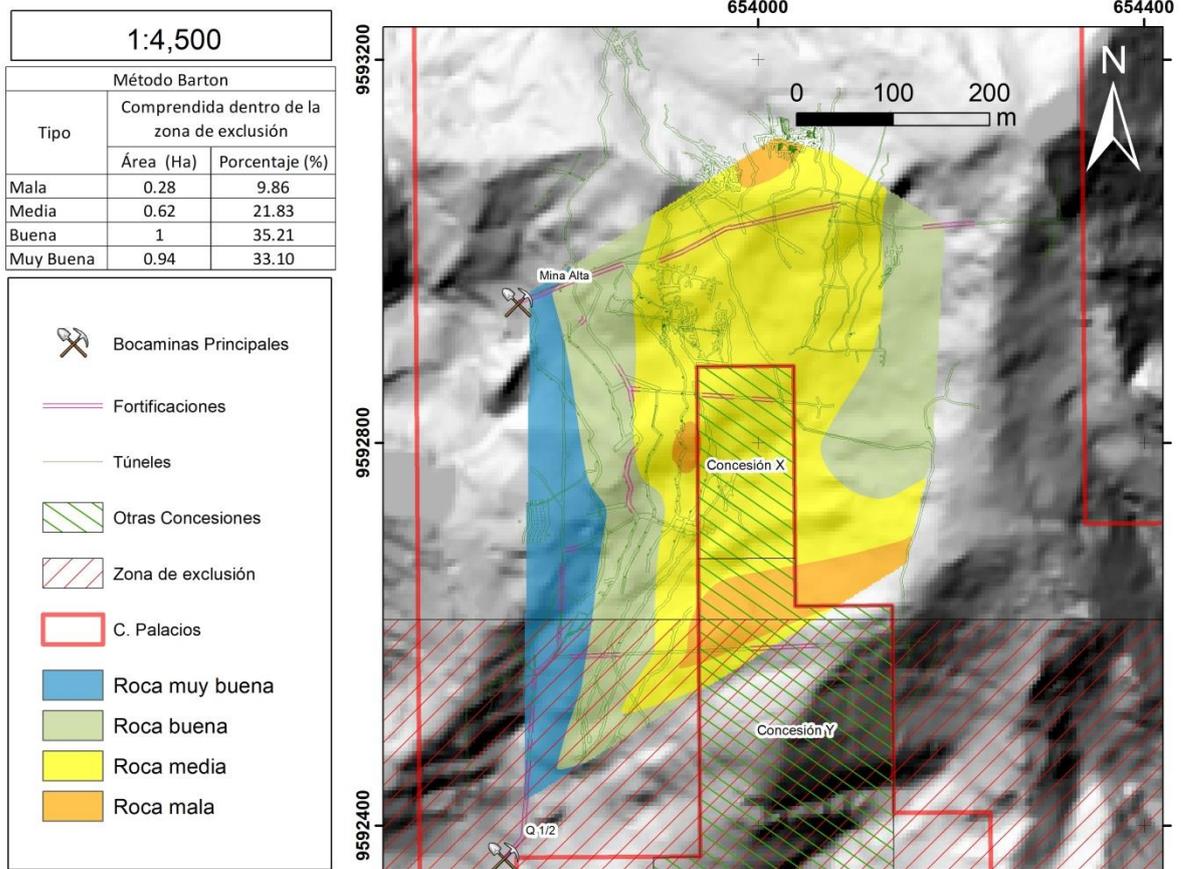


Figura 4.2 Zonificación-Evaluación Geomecánica aplicando Barton.

Tabla 4.2 Valoración Final-Levantamiento Subterráneo (Método Barton)

	Jn	Jr	Ja	Jw	Densidad (KG/m ³)	TECHO (cm)	σ_c (Kg/cm ²)	σ_1 (Kg/cm ²)	SRF	v(SRF)	RQD	ÍNDICE Q BARTON	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
EG01	4	2.0	2.0	1.00	2951.00	11866	624.57	52.52	11.89	1.00	94.7	23.680	Roca Buena
EG02	4	2.0	2.0	0.66	2272.00	15758	166.62	53.70	3.103	5.00	96.0	3.169	Roca Mala
EG03	5	2.0	0.8	1.00	2569.00	14660	707.35	56.49	12.52	1.00	90.2	45.105	Roca muy Buena
EG04	5	1.5	0.9	0.66	2951.00	15600	462.14	69.05	6.69	1.50	90.6	13.288	Roca Buena
EG05	9	2.0	0.9	0.50	2857.00	19480	738.79	83.48	8.85	1.50	82.6	7.203	Roca Media
EG06	3	1.5	2.0	0.50	2932.00	22390	999.73	98.47	10.15	1.00	96.3	12.039	Roca Buena
EG07	3	2.0	2.0	0.50	2526.00	26390	974.58	99.99	9.75	1.20	94.4	13.107	Roca Buena
EG08	10	1.5	2.0	0.33	2503.00	24466	987.16	91.86	10.75	1.00	90.2	2.233	Roca Mala
EG12	3	1.5	4.0	0.50	2469.00	17579	943.14	65.10	14.49	1.00	84.0	5.249	Roca Media
EG13	6	1.0	5.0	0.33	2466.00	20580	940.00	76.13	12.35	1.00	93.2	1.026	Roca Mala
EG14	3	2.0	1.5	0.66	2473.00	15000	940.00	55.64	16.89	1.00	94.7	27.785	Roca Buena
EG15	3	1.5	2.0	1.00	1400.00	17148	280.00	36.01	7.78	1.50	77.2	12.833	Roca Buena
EG16	5	1.5	2.0	0.50	2466.00	11259	940.00	41.65	22.57	1.00	81.4	6.075	Roca Media
EG17	3	1.5	2.0	0.33	2469.00	15255	943.14	56.50	16.69	1.00	88.6	7.343	Roca Media
EG18	7	1.5	2.0	0.50	2469.00	13200	943.14	48.89	19.29	1.00	79.1	4.232	Roca Media
EG19	9	1.5	2.0	0.33	2466.00	12225	940.00	45.22	20.79	1.00	87.8	2.420	Roca Mala
EG20	3	1.0	3.5	0.66	1400.00	8274	280.00	17.38	16.11	1.00	83.9	5.280	Roca Media

RQD (Deere & Deere, 1988). SRF (Barton, Lien, & Lunde, 1974). Jr= Relaciona la continuidad y rugosidad de los planos de fractura. Jn= Cantidad de sistemas de fracturas. Ja= Relaciona la alteración y tipo de relleno de discontinuidades. Jw= Humedad de los planos de fracturamiento.

En la Tabla 4.3, se muestran los principales parámetros que utiliza el método de (Laubscher, 1975) con su valoración y el valor obtenido para el RMR de Laubscher. La Tabla 4.4 muestran los valores con los ajustes que sugiere esta metodología para la obtención del MRMR. En la Figura 4.3 se muestra la zonificación de esta evaluación. Además se completó la zonificación agregándole puntos de ajuste donde se observaron mejores condiciones de seguridad en bocaminas.

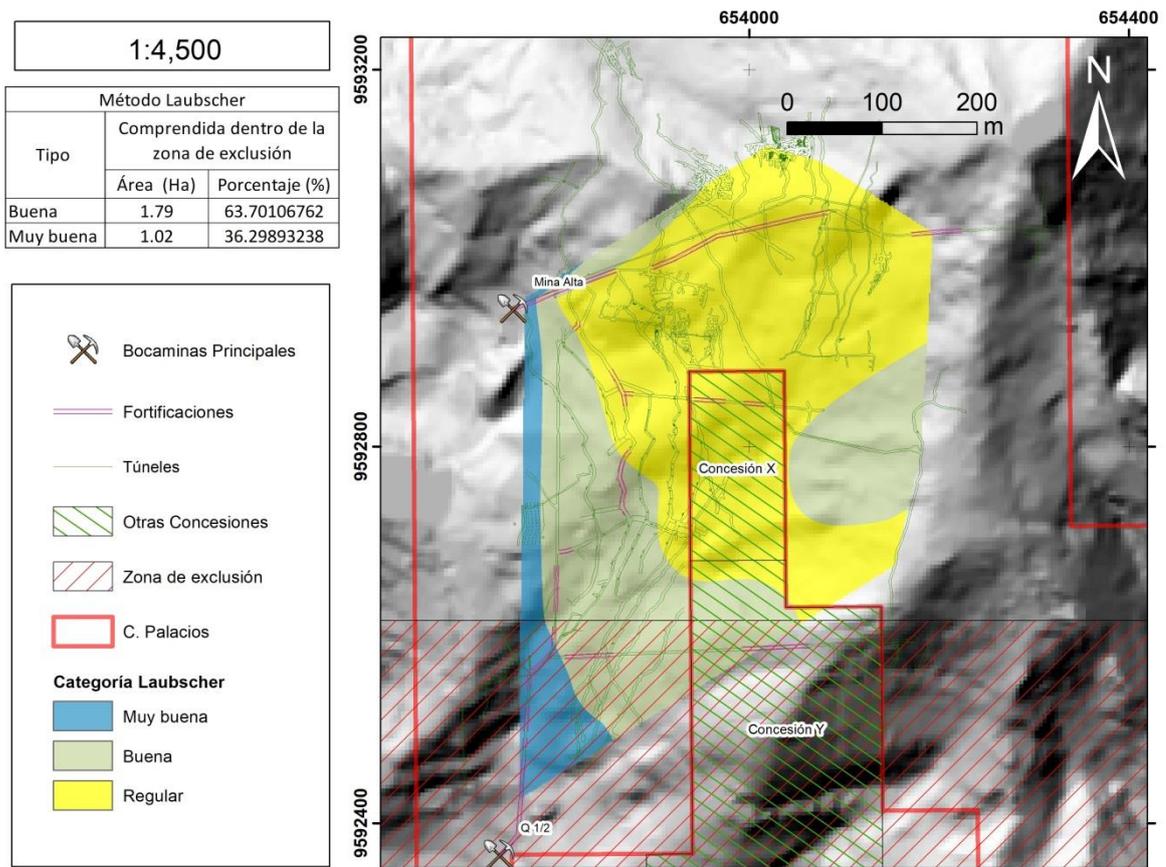


Figura 4.3 Zonificación-Evaluación Geomecánica aplicando Laubscher.

Tabla 4.3 Resultados-Levantamiento Subterráneo (Método Laubscher)

	IRS (Mpa)	A v(IRS)	N	FF /m	B ₁ v(FF/m)	RQD (%)	v (RQD)	Js Min	Js Med	Js Max	Js	v (Js)	B ₂ - RQD/E	Prom. B1-B2	C.D 1	C.D 2	C.D 3	C.D 4	C.D	RMR
EG01	61.25	6	2	3.7	35	94.7	15	10	30	145	0.346	14.8	29.83	32.42	95	80	100	100	30.4	68.8
EG02	16.34	3	2	3.1	35	96.0	15	15	28	170	0.517	16.2	31.24	33.12	90	75	100	100	27.0	63.1
EG03	69.37	8	2	5.2	28	90.2	15	11	24	65	0.280	13.3	28.38	28.19	95	80	100	100	30.4	66.5
EG04	45.32	6	2	5.1	29	90.6	15	8	18	52	0.222	12.1	27.20	28.10	90	75	100	100	27.0	61.0
EG05	72.45	8	3	7.5	14	82.6	14	2.00	13.00	43.00	0.16	3.2	17.22	15.61	85	70	100	100	23.8	47.4
EG06	98.04	10	1	3.0	40	96.3	15	14	34	66	0.352	8.2	23.25	31.63	85	70	100	100	23.8	65.4
EG07	95.57	10	1	3.8	40	94.4	15	11	27	90	0.305	7.8	22.84	31.42	85	70	100	100	23.8	65.2
EG08	96.81	10	3	5.3	19	90.2	15	8	21	118	0.299	6.2	21.20	20.10	80	65	100	100	20.8	50.9
EG12	92.49	10	1	7.1	29	84.0	14	7	18	47	0.196	6.5	20.58	24.79	85	70	100	100	23.8	58.5
EG13	92.18	10	2	4.2	32	93.2	15	12	17	51	0.199	13.0	28.06	30.03	80	65	100	100	20.8	60.8
EG14	92.18	10	1	3.7	40	94.7	15	10	20	50	0.247	7.2	22.24	31.12	90	75	100	100	27.0	68.1
EG15	27.46	4	1	9.0	17	77.2	12	3	19	70	0.216	6.8	18.85	17.93	95	80	100	100	30.4	52.3
EG16	92.18	10	2	7.9	14	81.4	12	2	20	110	0.262	10.2	22.22	18.11	85	70	100	100	23.8	51.9
EG17	92.49	10	1	5.8	21	88.6	15	3	15	85	0.180	6.3	21.33	21.17	80	65	100	100	20.8	51.9
EG18	92.49	10	3	8.5	11	79.1	12	5	23	60	0.220	4.9	17.00	14.00	85	70	100	100	23.8	47.7
EG19	92.18	10	3	6.0	13	87.8	15	5	12	25	0.139	3.5	18.53	15.77	80	65	100	100	20.8	46.5
EG20	27.46	4	1	7.1	18	83.9	14	4	13	50	0.169	6.1	20.15	19.08	90	75	100	100	27.0	50.0

IRS (Laubscher, 1975). RQD (Deere & Deere, 1988). FF/m= Frecuencia de Discontinuidades. Js= Espaciado entre discontinuidades. C.D.= Condición de las Discontinuidades. Cw= Ajuste por meteorización. Co= Ajuste por orientación de las discontinuidades. Cs= Ajuste por tensiones inducidas. Cb= Ajuste por efecto de voladuras. FF/m= Frecuencia de discontinuidades. N=Tendencia de fracturas. E= Espaciado.

Tabla 4.4 Valoración Final-Levantamiento Subterráneo (Método Laubscher)

	RMR	Cw	Co	Cs	Cb	MRMR	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
EG01	68.8	0.94	1	1.1	1	71.155	Buena - Categoría II
EG02	63.1	0.94	1	1.1	1	65.268	Buena - Categoría II
EG03	66.5	0.98	0.9	1.1	1	64.607	Buena - Categoría II
EG04	61.0	0.98	0.8	1.1	1	52.692	Regular - Categoría III
EG05	47.4	0.98	0.8	1.1	1	40.888	Regular - Categoría III
EG06	65.4	0.94	1	1.1	1	67.652	Buena - Categoría II
EG07	65.2	0.98	1	1.1	1	70.309	Buena - Categoría II
EG08	50.9	0.94	1	1.1	1	52.632	Regular - Categoría III
EG12	58.5	0.94	0.8	1.1	1	48.464	Regular - Categoría III
EG13	60.8	0.94	0.8	1.1	1	50.320	Regular - Categoría III
EG14	68.1	0.98	1	1.1	1	73.432	Buena - Categoría II
EG15	52.3	0.94	1	1.1	1	54.106	Regular - Categoría III
EG16	51.9	0.94	1	1.1	1	53.674	Regular - Categoría III
EG17	51.9	0.94	1	1.1	1	53.734	Regular - Categoría III
EG18	47.7	0.94	0.9	1.1	1	44.481	Regular - Categoría III
EG19	46.5	0.94	1	1.1	1	48.150	Regular - Categoría III
EG20	50.0	0.80	1	1.1	1	44.067	Regular - Categoría III

Cw= Ajuste por meteorización. Co= Ajuste por orientación de las discontinuidades. Cs= Ajuste por tensiones inducidas. Cb= Ajuste por efecto de voladuras.

Tabla 4.5 Cuadro comparativo de los métodos aplicados

Método de Barton	Método de Laubscher
Aplicable en macizos rocosos, y adaptable en excavaciones.	Aplicable únicamente para excavaciones mineras.
Es necesario conocer la resistencia a la compresión del material y los espesores de techo. Lo que requiere de prueba de laboratorio o uso tablas estándar, y topografía en superficie y túneles.	De ser un macizo heterogéneo se consideran más datos analizados en laboratorio (requiere invertir mayor tiempo y dinero).
Define mediante un índice la estabilidad de un macizo en general, pero no incluye en sus resultados una conclusión específica sobre excavaciones mineras.	Considera el radio hidráulico para definir la calidad de la excavación.
Los rangos de valoración son más flexibles que en Laubscher y requieren de un análisis menos exhaustivo.	Los rangos de valoración varían de acuerdo con el número de familias de diaclasas, lo que extiende el procesamiento de datos y obtención de resultados al aplicar las ecuaciones.
Los factores J_n , J_r , J_a , J_w y RQD del método de Barton son adaptables para las valoraciones que requiere Laubscher, de lo cual se aprovecha en campo para realizar la toma de los datos necesarios para ambas metodologías.	

4.3 Resultados de Discriminación de Causas por Actividad Minera

La Figura 4.4 muestra la categorización que resulta de la superposición de los mapas de subterráneo (Barton y Laubscher) con el de superficie, en la Figura 4.5 se muestra el resultado final de acuerdo al índice de incidencia por actividad minera según lo propuesto en la Tabla 2.18. Se observa que en su mayoría el resultado es “Aparente no Influencia por Actividad Minera” y se observa 3 zonas, A, B y C, con “Posible Influencia por Actividad Minera”.

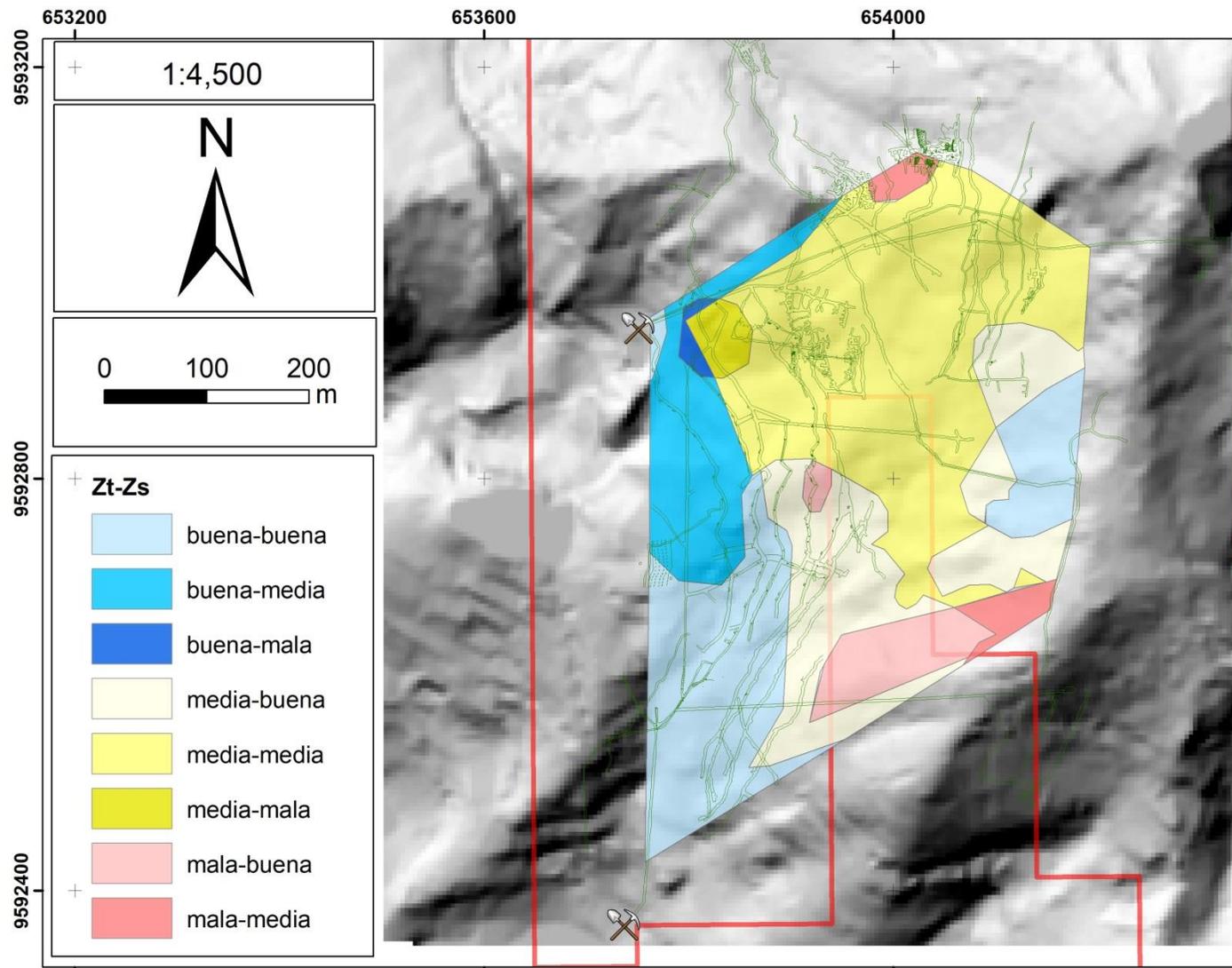


Figura 4.4 Superposición de mapas de zonificación subterránea y mapa de zonificación superficial. (Zt= Zonificación subterráneo. Zs= Zonificación superficial)

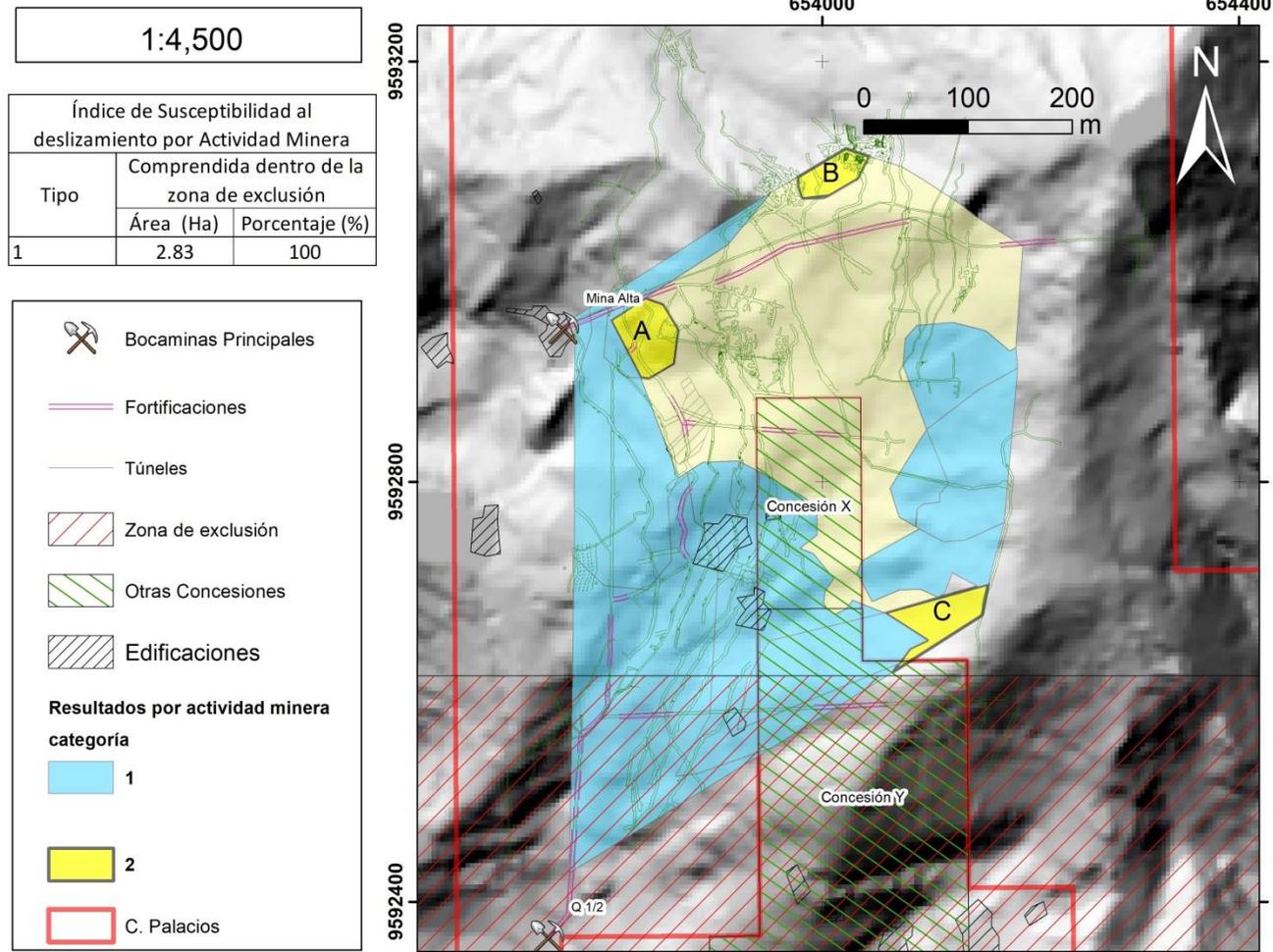


Figura 4.5 Índice de Influencia de Actividad Minera con respecto a Afectaciones en Superficie.

1) Aparente no influencia por actividad minera. 2) Posible influencia media por actividad Minera. 3) Posible alta influencia por actividad minera

Las tres zonas se las denominó como A, B y C, cada zona tiene su influencia y posible razón de estar categorizada como “Posible influencia media por Actividad Minera” (2), en la zona A es el único lugar donde se obtuvo categoría V (Condiciones Inestables. Ver Tabla 4.1) en superficie categorizado como mala, mientras que en subterráneo se lo categoriza como media. En las zonas B y C los valores obtenidos en subterráneos fueron categorizados como malos, mientras que superficialmente los valores de B y C son medios, siendo lo contrario a lo que ocurre en la zona A, pero teniendo todos A, B y C la categorización 2.

La zona A se ve influenciada al ser una bocamina alterna en la que exteriormente sus paredes tienen una roca deteriorada y alterada (Figura 4.6), a su vez existe flujo de agua en sus paredes. Esta bocamina alterna se conecta luego con la bocamina principal de Mina Alta (siendo esta en varios tramos bien reforzada), ya dentro de la mina, en esta conexión se observó que la roca sigue siendo de características blandas (Figura 4.7), el tramo aquí es de una abertura pequeña de 2 m de alto * 1.5 m de ancho, y no hay fortificaciones que ayuden al sostenimiento de la mina, siendo esta para nosotros la zona con mayor amenaza.

La estación de superficie E20 y de subterráneo EG 20 no está uno encima de otro, si no alejados de manera horizontal 120 m, ya que la estación E20 está a la entrada del camino que lleva a EG 20 casi a las mismas cotas, mientras que la distancia entre E20 y EG 4 es aproximada 146 m en altura. La razón de por qué se relaciona los valores de E20 y EG 20 es porque corresponden a tramos de la misma mina (Mina Alta), EG 4 es de $Q_{1/2}$, y el tipo de roca encontrada tanto en E20 y EG 20 es la misma (tobas riolíticas), y con características similares, por último la interpolación de tanto el mapa de susceptibilidad superficial y de los métodos aplicados en subterráneo, la tendencia de la interpolación fue mayor entre E20 y EG20 que con E20 y EG04



Figura 4.6 Paredes alteradas, con roca frágil en el sector A, correspondiente a la estación E20 realizada en los trabajos susceptibilidad al deslizamiento en superficie



Figura 4.7 Paredes con roca frágil en el sector A, correspondiente a la estación E.G 20 realizada en los trabajos en subterráneo.

La zona B tiene como principal característica la parte del subsuelo en el que se observó derrumbes por trabajos antiguos de explotación a una veta (Figura 4.8),

aquí los valores no fueron favorables por el método de Barton, y en Laubscher tuvieron valores regulares, lo que corresponde al trabajo en superficie, la estación más cercana es E7 corresponde a una zona de pastizal, donde la estación se la realizó en una antigua entrada a mina (Figura 4.9), también el límite de esta zona de pastizal son plantaciones de eucaliptos plantados por la empresa BIRA S.A. (Figura 4.10). En general superficialmente se caracterizaría como una zona estable, ya que no existen pendientes altas. La diferencia de cotas entre E7 y EG 19 es de 102 m aproximadamente.



Figura 4.8 Zona de derrumbe que queda en el sector B, correspondiente a la estación EG19.



Figura 4.9 Estación E7, corte de antigua entrada a una mina.

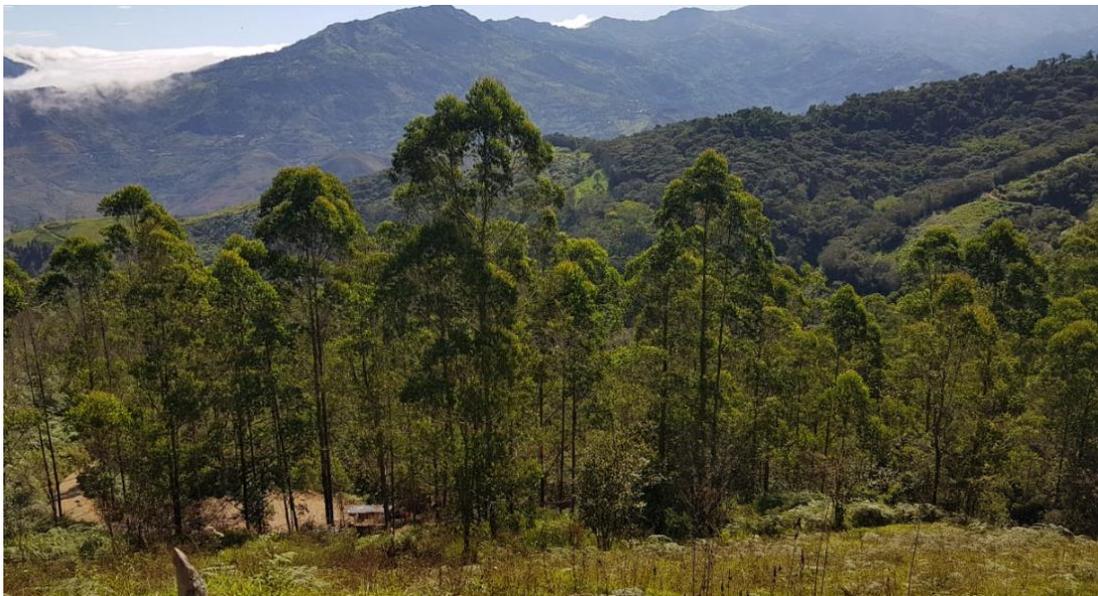


Figura 4.10 Plantaciones de eucaliptos favoreciendo a la estabilización de la zona, plantados por la empresa BIRA S.A.

La zona C también se ve influenciada principalmente por el análisis de subsuelo, que con el método de Barton sale valores de roca mala, aquí se encontró galerías con presencia de agua debido a la predominancia de la escorrentía subterránea

(Figura 4.11), las cuales se tiene prohibido el paso por entidades públicas, haciendo que el mantenimiento a estas sea dificultoso, mientras que en superficie ya no corresponde al área de la empresa BIRA S.A., los datos observados fueron andesitas (roca dura) fracturadas y con flujo de agua, además de ser un límite de plantaciones de eucaliptos plantados por la empresa BIRA S.A.



Figura 4.11 Zonas de presencia de agua en el sector C, correspondiente a la estación EG8.

En las zonas donde se tiene las condiciones de categoría “Media”-“Media” que se encuentran de amarillo claro y que no corresponden ni a A, B y C (Figura 4.5), no existen evidencias de afectaciones mayoritarias que influyan en la parte superficial y en los túneles. Además las excavaciones encontradas en esta zona cuentan con fortificaciones de hierro y madera (Figura 4.12).



Figura 4.12.- Fortificaciones de hierro y madera en excavaciones.

A lo largo de las excavaciones se tiene un promedio de techo de 100 m de espesor, las afectaciones que se puedan generar localmente, considerando que la excavación tiene como máximo 3 m de radio, difícilmente va a colapsar en superficie por la mínima escala que tiene la geometría de la excavación con respecto a la carga que yace sobre éste (Figura 4.13). Adicional a esta interpretación según el estudio realizado en las excavaciones de la mina Q_{1/2} por (Blanco, 2018) quien identifica la profundidad de seguridad entre 50 y 60 m desde la superficie a la excavación, donde se podrían realizar excavaciones sin fortificaciones y considerando los peores escenarios posibles.

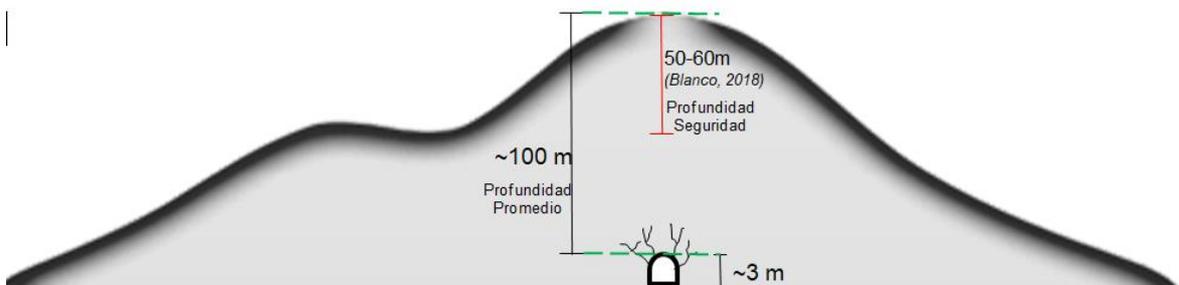


Figura 4.13 Vista en perfil de techo y geometría de excavación.

Estas cosas respaldan los resultados obtenidos en la discriminación de causas (Figura 4.5) donde van desde una posible no influencia a una posible influencia media de afectaciones en superficie.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Mediante el análisis de susceptibilidad a deslizamiento se determinaron los terrenos estables y poco estables en superficie, las áreas con índice de medio a bajo coinciden con las zonas de edificaciones principales, y áreas de reforestación en terrenos que pertenecen a BIRA S.A. los cuales no presentan indicios de reptación o señales de inestabilidad. Las áreas con índice de susceptibilidad alto corresponden a terrenos con falta de cobertura vegetal, presencia de agua, evidencia de pequeños deslizamientos, y por lo general se encuentran al NE en terrenos donde la empresa no es propietaria.

El área de estudio comprendida dentro de la zona de exclusión de 10.88 hectáreas, el terreno de categoría I (condiciones estables) con un porcentaje del 18.47 %, categoría II (condiciones estables-debe existir monitoreo) con 48.71 %, y una categoría III (condiciones preponderadamente estables-debe haber un monitoreo sistemático) con 32.81 %, por lo que se determina que las condiciones de la zona excluida en las que se hizo el estudio superficial son generalmente estables.

De las muestras; correspondientes a Andesitas, Andesitas porfiríticas, Toba Riolíticas y Microdioritas, que se colectaron para el análisis de propiedades físicas de laboratorio se obtuvieron valores de densidad máxima entre 1400-2950 Kg/m³, y de resistencia a compresión entre 160-1000 kg/cm², de los valores bajos corresponden a muestras que presentaron alteraciones o deterioro y que fueron seleccionadas para la obtención de resultados conservadores.

La zonificación efectuada mediante el método de Barton indicó en categorías el índice de resistencia del macizo, las zonas muy buenas y buenas corresponden mayormente a las entradas de bocaminas y principales cruceros; las zonas de categoría media se extienden en cruceros secundarios que se desplazan en dirección W-E y coinciden con macizos medianamente deteriorados; las zonas de categoría mala son evidencia de macizos con influencia de agua, y alteraciones. El índice Q de Barton mayor es 45.105 en la estación EG03, mientras que el menor corresponde a EG19 con 2.42.

De la zona analizada mediante Barton y que coincide con la zona de exclusión (2.82 hectáreas) se tiene una roca mala en el 9.86 %, roca media en el 21.83 %, roca buena en el 35.21% y roca muy buena en el 33.10%, por lo que se determina que menos del 10 % del terreno excluido tiene condiciones de roca mala, estando casi al límite del área de exclusión.

La zonificación efectuada mediante Laubscher indicó, en categorías, la resistencia de la excavación. Las zonas de categoría muy buena y buena corresponden a los cruceros principales, bocaminas y las excavaciones con fortificaciones; las zonas de categoría regular se disponen en excavaciones con presencia de agua, y sin fortificaciones. Ambos resultados representan, en general, un estado resistente de las excavaciones, que no representan en superficie potenciales amenazas.

El MRMR mayor es 71.155 en la estación EG01, mientras que el menor es 40.888 en la estación EG05, dando resultados son de bueno a regular, dentro de las 2.82 hectáreas del terreno excluido en el que se realizó el análisis por el método de Laubscher el porcentaje de categoría buena es de 63.7 %, y el de muy buena es de 36.3 %, por lo que se determina que según el estudio con la metodología de Laubscher las condiciones de las excavaciones son, en general, buenas.

Del análisis comparativo entre los resultados de susceptibilidad a deslizamiento en superficie y con las estaciones geomecánicas mediante los métodos Barton y Laubscher, se determinó que la mayor extensión de zona de estudio corresponde a un índice de aparente no influencia por actividad minera en las afectaciones superficiales. La otra parte corresponde a zonas de Posible influencia media por actividad minera, de donde tres zonas (A, B y C) fueron de especial interés al ser estaciones realizadas tanto superficie como en subterráneo, de estas tres se determinó que en A podría existir una mayor influencia superficial por actividad minera, al existir evidencias del mismo tipo de roca y comportamiento estructural no favorable. El área de estudio comprendida dentro de la zona de exclusión (2.82 hectáreas) indicó que existe un 100 % con categoría 1 (Aparente no influencia por actividad minera), según la metodología propuesta.

5.2 Recomendaciones

Cabe recalcar que si bien este estudio se realizó en base a la extensión superficial que cubre la concesión, no en su totalidad estos terrenos son propiedad de la empresa por lo que acciones que se puedan efectuar por parte de BIRA S.A., para controlar las excavaciones ilegales que afectan localmente en ciertos sectores, reforestar, y la realización de bermas estabilizadoras en zonas críticas, se escapan de sus posibilidades.

Las limitaciones de estos resultados se debe a que muchas de las excavaciones estaban cerradas, impidiendo se realice con mayor detalle y extensión el trabajo en subterráneo, por lo que se recomienda que las instituciones encargadas de estos permisos, otorguen esta posibilidad para estudios detallados en donde se necesita intervenir para su análisis in situ. ¿Si no se puede llegar a la causa, cómo solucionar el problema?.

Se recomienda que se valide esta metodología en otras zonas donde se a posible acceder a túneles y se pueda efectuar el trabajo de superficie sin restricciones. Si bien en subterráneo se utilizaron el método de Laubscher y Barton, existen métodos como Bulychev, Bieniawski que también podría utilizarse.

Es importante que se realice un estudio consecuente a este proyecto que realice un análisis socioeconómico, inventario de infraestructuras, y asentamientos de habitantes en la zona de estudio para determinar el riesgo que influencia esta zona. Además de un estudio sobre el patrimonio, ambiente y de agua, que son factores considerados para la propuesta de una nueva delimitación exclusión minera.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambalagan, R. (1992). Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain. *Proceedings of the sixth International Symposium on Landslides*, (págs. 861-871). Christchurch.
- Aspden, J., Bonilla, W., & Duque, P. (1995). The El Oro metamorphic complex. *Geology and Economic mineral deposits* (págs. 63-67). Keyworth, U.K: British Geological Suvey.
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics*, 6(4), 189-236.
- Blanco, R. (2015). *Estudios y Propuestas de Estabilización del Cerro Las Cabras*. Guayaquil: CIPAT-ESPOL.
- Blanco, R. (2018). *Estudios de la Zona de Exclusión Minera en los Cantones Zaruma-Portovelo: Caso concesiones mineras Esperanza II y Palacios. Informe Geotécnico*. Guayaquil: CIPAT-ESPOLTECH E.P.
- Blanco, R. (2018). *Estudios de la Zona de Exclusión Minera en los Cantones Zaruma-Portovelo: Caso concesiones mineras Esperanza II y Palacios. Informe Influencia de Trabajos Mineros en la Superficie*. Guayaquil: CIPAT-ESPOLTECH E.P.
- Bonilla, W. (2009). *Metalogenia del distrito minero Zaruma-Portovelo, República del Ecuador*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- BROWN, E. T., & ISRM. (1981). Rock characterization, testing & monitoring: ISRM suggested methods. *Oxford: Published for the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics by Pergamon Press*.
- Chávez, M. Á., & Guardado, R. (2008). Evaluación ingeniero-geológica del deterioro de las rocas en la provincia de Manabí, Ecuador. *Minería y Geología*, 24(4).
- Cook, J. (2016). La geomecánica. *Oilfield Review*, 28(1), 51-53.
- Deere, D., & Deere, D. (1988). The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. (L. Kirkaldie, Ed.) *Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM STP 984*, 91-101.
- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*, 2(2), 4-16.

- Hoek, E., & Marinos, P. (2000). Predicting tunnel squeezing problems in a weak heterogeneous rock masses. *Tunnels and tunnelling international*, 32(11), págs. 45-51.
- Hoek, E., Kaiser, P., & Bawden, W. (1995). *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam: Balkema.
- Laubscher, D. (23 de Agosto de 1975). Class distinction in rock masses. *Coal gold base min S Afr*.
- Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey*, 147.
- Morante, F. (2018). *Estudios de la Zona de Exclusión Minera en los Cantones Zaruma-Portovelo: Caso concesiones mineras Esperanza II y Palacios. Informe Geológico*. Guayaquil: CIPAT-ESPOLTECH E.P.
- Mutti, D. I., & Bonilla, W. (2005). La faja de mineralización aurífera-polimetálica Zruma-Portovelo, Ecuador: Estilo y Caracterización estructural. *Congreso Geológico Argentino*, (págs. 263-270). La Plata.
- Nicholson, D. T., & Hencher, S. R. (1997). Assessing the potential for deterioration of engineered rockslopes. *In Proceedings of the IAEG symposium*, (págs. 911-917). Athens.
- Phillipson, H. B., & Brand, E. (1985). Sampling and Testing of Residual Soils. A Review of International Practice. *Sampling and testing of Residual Soils in Hong Kong*. Hong Kong.
- Pratt, W. T., Figueroa, J., & Flores, B. (1997). *Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3-4 S*. Quito: Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica, CODIGEM-BGS.
- PRODEMINCA. (2000). *Depositos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados on Intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real: Evaluación de Distritos*.
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Edición UIS, ISBN 958-33-0800-5.

ANEXOS

Anexo 1. Carta de Autorización-BIRA S.A.

Guayaquil, 19 de julio de 2018

Yo Oscar Emilio Loor Oporto, con cedula de identidad número 0907599542, en mi calidad de Representante Legal de la empresa BIRA Bienes Raíces S.A. autorizo a los estudiantes Andrés Sánchez y Cristhian Sánchez a utilizar información facilitada por la empresa referente a topografía superficial y de túneles e información obtenida por los sondajes que la empresa ha realizado, con los fines pertinentes de acondicionar y fortalecer su trabajo de grado denominado **"EVALUACIÓN DE AMENAZAS GEODINÁMICAS POR ACTIVIDAD MINERA EN LA CONCESIÓN MINERA PALACIOS."** Los estudiantes se comprometen a no divulgar ni usar para fines personales la información que, con el objeto de la relación de trabajo para la que fue sumistrada bajo contrato de ESPOLTECH E.P con BIRA S.A.

Atentamente,



Ing. Oscar Emilio Loor Oporto
Gerente BIRA Bienes Raíces S.A.
CI: 0907599542

Anexo 2. Tabla de logueo realizado al sondaje ddh-26. CIPAT-ESPOLTECH

pozo DDH26			
desde (m)	hasta (m)	litología	observaciones
0	0.4	suelo	
0.4	9.6	brecha silicificadas	
9.6	9.7	andesita porfirítica	
9.7	17	brecha silicificadas	
17	27.8	brecha silicificadas	Zona de falla
27.8	29.1	andesita porfirítica	
29.1	33.7	brecha silicificadas	
33.7	34.4	andesita porfirítica	
34.4	37.3	brecha silicificadas	
37.3	45.82	brecha silicificadas	
45.82	46.02	brecha silicificadas	falla milonitas, 50° con respecto a vertical
46.1	49.75	brecha silicificadas	zona fractura
49.75	50.2	brecha silicificadas	falla, 70°
50.2	53.3	brecha silicificadas	zona fractura
53.3	54.65	brecha silicificadas	
54.65	56.35	andesita porfirítica	
56.35	56.95	andesita porfirítica	zona de falla, 65°
56.95	57.35	andesita porfirítica	
57.35	58.27	andesita porfirítica	zona de falla, 65°
58.27	61.3	andesita porfirítica	
61.3	61.7	andesita porfirítica	zona fractura
61.7	66.53	andesita porfirítica	
66.53	66.7	andesita porfirítica	falla milonita, 65°
66.7	66.95	andesita porfirítica	
66.95	71.85	andesita brechosa	alteración hidrotermal
71.85	70.2	andesita brechosa	zona falla, 65°
70.2	73.25	andesita porfirítica	
73.25	76.2	andesitas y tobas	
76.2	76.6	andesitas y tobas	zona fractura
76.6	78.8	andesitas y tobas	
78.8	79.3	andesitas y tobas	zona fractura
79.3	80.2	andesitas y tobas	
80.2	81.6	andesitas y tobas	zona fractura
81.6	82.6	andesitas y tobas	

82.6	83.9	andesita	
83.9	88	andesita porfírica	

Anexo 3. Tabla de logueo realizado al sondaje DDH-28-S. CIPAT-ESPOLTECH

pozo DDH-28-S			
desde (m)	hasta (m)	litología	observaciones
0	3.2	suelo	
2.95	48.93	brecha	
48.93	50.82	brecha	falla
50.82	54.35	brecha	
54.35	61	andesita porfírica	

Anexo 4. Tabla de logueo realizado al sondaje DDH-03-S. CIPAT-ESPOLTECH

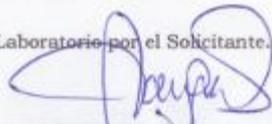
pozo DDH-03-S			
desde (m)	hasta (m)	litología	observaciones
0	11.5	suelo arcilloso rojizo	
11.5	14	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	
14	14.5	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	falla, material arcilloso y altamente fracturado
14.5	16	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	zona de fractura
16	17.4	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	
17.4	18.8	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	zona de fractura
18.8	20	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	
20	20.5	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	zona de fractura
20.5	21	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	
21	21.6	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	zona de fractura

21.6	22.1	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	
22.1	22.6	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	zona de fractura
22.6	23.5	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	
23.5	24	brecha hidrotermal con manchas rojizas, alteración	zona falla milonita
24	25	dique silíceo	
25	26.5	mezcla entre dique silicio y brecha hidrotermal	
26.5	30.4	dique silíceo con menor alteración	
30.4	31.14	dique silíceo con menor alteración	zona de fractura
31.14	31.9	dique silíceo con menor alteración	
31.9	32.1	dique silíceo con menor alteración	zona de fractura
32.1	32.55	dique silíceo con menor alteración	
32.55	33.5	dique silíceo con menor alteración	zona de fractura
33.5	34.2	dique silíceo con menor alteración	
34.2	36	brecha hidrotermal	
36	37.3	dique silíceo	
37.3	37.8	dique silíceo	zona de fractura
37.8	39	dique silíceo	
39	39.4	dique silíceo	zona de fractura
39.4	46	dique silíceo	
46	50	brecha hidrotermal	
50	52.5	dique silíceo	
52.5	53.2	dique silíceo	zona de fractura
53.2	55	dique silíceo	
55	58.5	andesita con alteración roja verde	vetilla de cuarzo de 1.5 cm, 35° vertical
58.5	56.7	andesita porfirítica	
56.7	57	andesita porfirítica	veta de pirita, hematita 45°
57	58.25	andesita porfirítica	
58.25	58.8	andesita porfirítica	zona de fractura
58.8	59.6	andesita porfirítica	
59.6	60	andesita porfirítica	zona de fractura
60	61.3	andesita porfirítica	

61.3	61.8	andesita porfirítica	zona de falla milonita 40°
61.8	63.6	andesita porfirítica	
63.6	64.3	andesita porfirítica	zona de fractura
64.3	70.4	andesita porfirítica	continua alteración verde
70.4	70.9	andesita porfirítica	zona de fractura
70.9	71.4	andesita porfirítica	
71.4	72	andesita porfirítica	falla 70°, aspecto arcilloso
72	74.1	andesita porfirítica	
74.1	75.7	andesita porfirítica	zona de fractura
75.7	76.2	andesita porfirítica	
76.2	77	andesita porfirítica	zona de fractura
77	78.7	andesita porfirítica	
78.7	79.1	andesita porfirítica	zona de fractura
79.1	81.3	andesita porfirítica	
81.3	82.7	andesita porfirítica	zona de fractura
82.7	83	andesita porfirítica	
83	83.8	andesita porfirítica	zona de fractura
83.8	84.2	andesita porfirítica	
84.2	85	andesita porfirítica	zona de fractura
85	96.2	andesita porfirítica	
96.2	97	brecha hidrotermal	
97	97.8	brecha hidrotermal	falla
97.8	99.2	brecha hidrotermal	
99.2	100.2	brecha hidrotermal	zona de fractura
100.2	102.3	andesita porfirítica	
102.3	105.1	andesita porfirítica	zona de fractura
105.1	106.4	andesita porfirítica	
106.4	106.6	brecha hidrotermal	
106.6	107	brecha hidrotermal	zona de fractura
107	107.9	brecha hidrotermal	
107.9	108.8	andesita porfirítica	zona de fractura
108.8	109.5	andesita porfirítica	
109.5	110.1	andesita porfirítica	zona de fractura
110.1	110.7	andesita porfirítica	
110.7	110.4	andesita porfirítica	zona de fractura
110.4	111.7	andesita porfirítica	
111.7	112.6	andesita porfirítica	falla, 35°

112.6	123.3	andesita porfirítica	
123.3	126.5	andesita porfirítica	zona de fractura
126.5	128.3	andesita porfirítica	
128.3	129.2	andesita porfirítica	zona de fractura
129.2	133.6	andesita porfirítica	
133.6	134.1	andesita porfirítica	zona de fractura
134.1	136.4	andesita porfirítica	
136.4	137.1	andesita porfirítica	falla
137.1	140.4	andesita porfirítica	
140.4	141.55	andesita porfirítica	zona de fractura
141.55	142.15	andesita porfirítica	
142.15	143.5	andesita porfirítica	zona de fractura
143.5	148.8	andesita porfirítica	falla de cizalla
148.8	149	andesita	
149	149.8	andesita	falla de cizalla
148.8	150.15	andesita	
150.15	153.6	andesita porfirítica	
153.6	157.6	toba riolítica	
157.6	158.2	toba riolítica	zona de fractura
158.2	159.1	toba riolítica	
159.1	159.9	toba riolítica	zona de fractura
159.9	160.2	toba riolítica	falla milonita
160.2	162.4	andesita porfirítica	zona de fractura

Anexo 5. Propiedades Físicas de Laboratorio (CIPAT-ESPOLTECH)

 <p>CONSULTORIA, INGENIERIA Y SERVICIOS CINSER C. LTDA</p>		<p>LABORATORIO Suelos - Rocas - Pavimentos - Materiales</p>	
DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA ROCA			
FECHA: 31 de mayo del 2018			
SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL		
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".		
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO		
DATOS DE LOS ESPECIMENES:			
φ (cm)	4,50	AREA (cm ²)	15,90
h (cm)	9,00	VOLUMEN (cm ³)	143,14
MUESTRA N° EG-2			
IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m³)
1	323,30	143,14	2259
2	326,10	143,14	2278
3	326,10	143,14	2278
		MEDIA	2272 ± 1
MUESTRA N° EG-3			
IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m³)
1	367,30	143,14	2566
2	368,00	143,14	2571
3	368,00	143,14	2571
		MEDIA	2569 ± 1
MUESTRA N° EG-4			
IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m³)
1	421,40	143,14	2944
2	422,80	143,14	2954
3	422,90	143,14	2954
		MEDIA	2951 ± 1
OBSERVACIONES: Las muestras fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.			
OPERADOR:	C.C.V.	REVISO Y APROBO:	 Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc JEFE DE LABORATORIO

DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA ROCA

FECHA: 31 de mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

DATOS DE LOS ESPECIMENES:

ϕ (cm) 4,50
h (cm) 9,00

AREA (cm²) 15,90
VOLUMEN (cm³) 143,14

MUESTRA N° EG-5			
IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	407,26	143,14	2845
2	409,86	143,14	2863
3	409,86	143,14	2863
		MEDIA	2857 ± 1

MUESTRA N° EG-6			
IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	417,99	143,14	2920
2	420,49	143,14	2938
3	420,48	143,14	2938
		MEDIA	2932 ± 1

MUESTRA N° EG-7			
IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	361,00	143,14	2522
2	361,50	143,14	2526
3	362,00	143,14	2529
		MEDIA	2526 ± 1

OBSERVACIONES: Las muestras fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:


Ing. Julia Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA ROCA

FECHA: 31 de mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

DATOS DE LOS ESPECIMENES:

ϕ (cm) 4,50

h (cm) 9,00

AREA (cm²) 15,90

VOLUMEN (cm³) 143,14

MUESTRA N° EG-8

IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	358,00	143,14	2501
2	358,50	143,14	2505
3	358,20	143,14	2502
		MEDIA	2503 ±1

MUESTRA N° EG-12

IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	353,00	143,14	2466
2	353,60	143,14	2470
3	353,70	143,14	2471
		MEDIA	2469 ±1

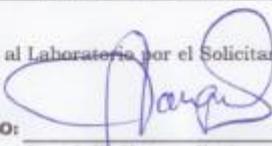
MUESTRA N° EG-13 (1)

IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	352,00	143,14	2459
2	353,00	143,14	2466
3	354,00	143,14	2473
		MEDIA	2466 ±1

OBSERVACIONES: Las muestras fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:


 Ing. Julia Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA ROCA

FECHA: 31 de mayo del 2018

SOLICITANTE: Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
 CIPAT-ESPOL

PROYECTO: "ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES
 ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y
 PALACIOS".

UBICACIÓN: ZARUMA-PORTOVELO

DATOS DE LOS ESPECIMENES:

ϕ (cm) 4,50

AREA (cm²) 15,90

h (cm) 9,00

VOLUMEN (cm³) 143,14

MUESTRA N° EG-13 (2)

IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	355,00	143,14	2480
2	356,00	143,14	2487
3	356,50	143,14	2491
MEDIA			2486 ± 1

MUESTRA N° EG-13 (3)

IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	354,50	143,14	2477
2	354,10	143,14	2474
3	355,00	143,14	2480
MEDIA			2477 ± 1

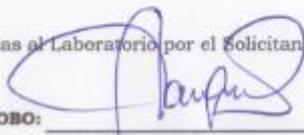
MUESTRA N° EG-14

IDENTIFICACION	PESO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN MUESTRA (cm ³)	DENSIDAD MAXIMA (Kg/m ³)
1	352,80	143,14	2465
2	354,30	143,14	2475
3	354,80	143,14	2479
MEDIA			2473 ± 1

OBSERVACIONES: Las muestras fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:


 Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE EN ROCA
ASTM.D2938

FECHA: 31 de Mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA

MUESTRA N°	EG-2
ENSAYO	1/1
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	325,16
Carga máxima (Kg)	2.650,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,27
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	166,62

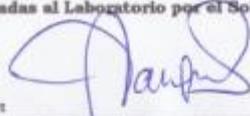
FOTO ESQUEMA DE FALLA



OBSERVACIONES: Las muestras de roca fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:



Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA
ASTM.D2938

FECHA: 31 de Mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	*ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS*.
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

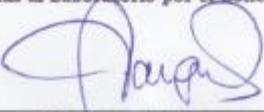
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA	
MUESTRA N°	EG-3
ENSAYO	1/1
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	367,70
Carga máxima (Kg)	11.250,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,57
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	707,35



OBSERVACIONES: Las muestras de roca fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:

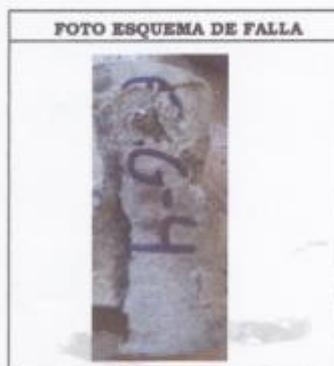

 Ing. Julio Vargas Jiménez, Mac
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA
ASTM.D2938

FECHA: 31 de Mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL.
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA	
MUESTRA N°	EG-4
ENSAYO	1/2
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	422,40
Carga máxima (Kg)	7.100,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,95
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	446,42



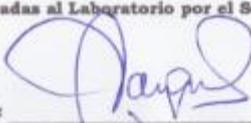
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA	
MUESTRA N°	EG-4
ENSAYO	2/2
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	422,80
Carga máxima (Kg)	7.350,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,95
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	462,14



OBSERVACIONES: Las muestras de roca fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:



Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA
ASTM.D2938

FECHA: 31 de Mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

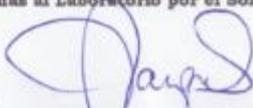
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA	
MUESTRA N°	EG-5.
ENSAYO	1/1
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	409,00
Carga máxima (Kg)	11.750,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,86
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	738,79



OBSERVACIONES: Las muestras de roca fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:

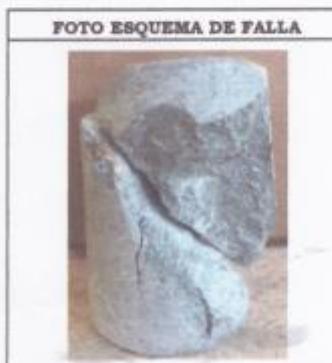

 Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA
ASTM.D2938

FECHA: 31 de Mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

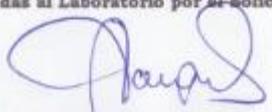
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA	
MUESTRA N°	EG-6
ENSAYO	1/1
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	419,65
Carga máxima (Kg)	15.900,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,93
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	999,73



OBSERVACIONES: Las muestras de roca fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:


 Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA
ASTM.D2938

FECHA: 31 de Mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

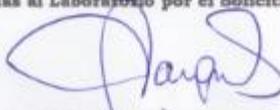
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA	
MUESTRA N°	EG-7.
ENSAYO	1/1
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	361,20
Carga máxima (Kg)	15.500,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,52
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	974,58



OBSERVACIONES: Las muestras de roca fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:



Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA
ASTM.D2938

FECHA: 31 de Mayo del 2018

SOLICITANTE:	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra CIPAT-ESPOL
PROYECTO:	"ESTUDIOS DE LA ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA EN LOS CANTONES ZARUMA-PORTOVELO: CASO CONCESIONES MINERAS ESPERANZA II y PALACIOS".
UBICACIÓN:	ZARUMA-PORTOVELO

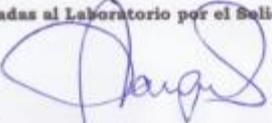
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PROBETA	
MUESTRA N°	EG-12
ENSAYO	1/1
Diámetro (cm)	4,50
Altura (cm)	9,00
Peso de la probeta (gr)	353,30
Carga máxima (Kg)	15.000,00
Relación altura/diámetro	2,00
Área (cm ²)	15,90
Volumen (cm ³)	143,14
Densidad Humedad (gr/cm ³)	2,47
Resistencia a compresión (Kg/cm²)	943,14



OBSERVACIONES: Las muestras de roca fueron proporcionadas al Laboratorio por el Solicitante.

OPERADOR: C.C.V.

REVISO Y APROBO:


 Ing. Julio Vargas Jiménez, Msc
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 6. Tabla de rangos de parámetros para el cálculo del índice Q (Barton, Lien, & Lunde, 1974).

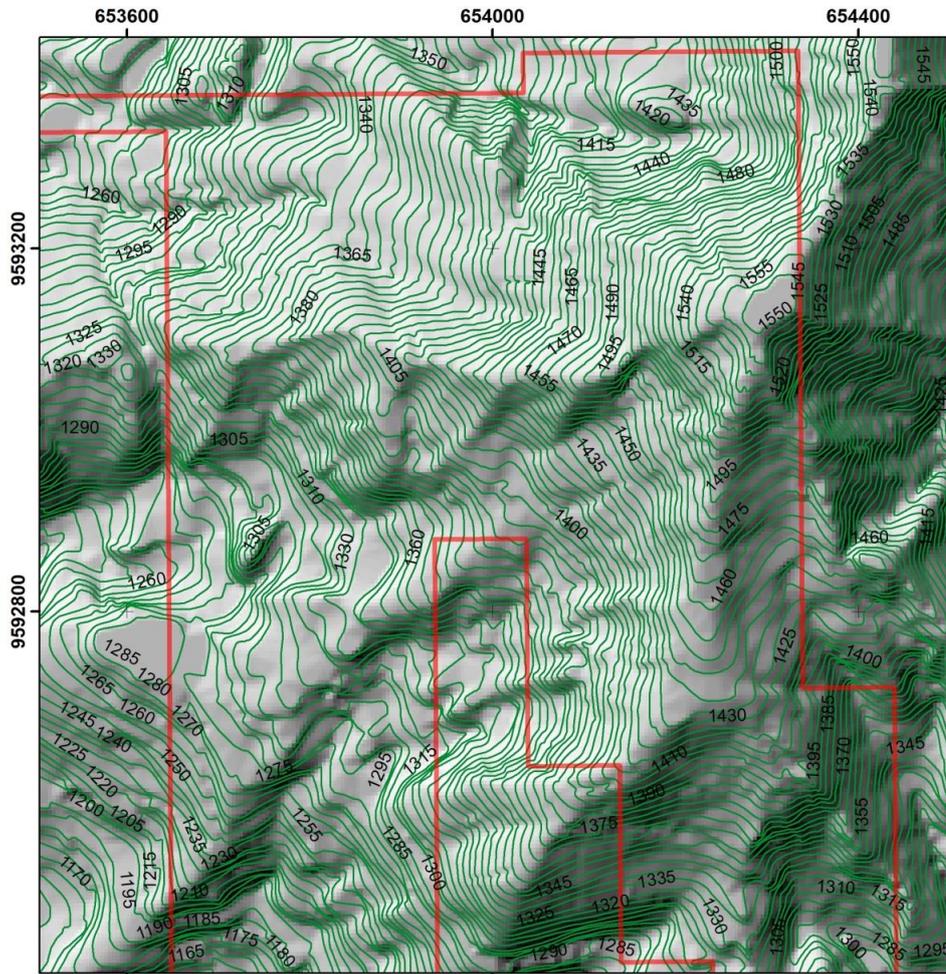
Índices de diaclasado J_n		Valor	Índice de rugosidad J_r		Valor
Roca masiva		0,5- 1,0	Diaclasas rellenas		1
Una familia de diaclasas		2	Diaclasas limpias (*)		4
Id. Con otras diaclasas ocasionales		3	- Discontinuas		3
Dos familias de diaclasas		4	- Onduladas, rugosas		2
Id. Con otras diaclasas ocasionales		5	- Planas, rugosas		1,5
Tres familias de diaclasas		9	- Planas, lisas		1,0
Id. Con otras diaclasas ocasionales		12	Lisos o espejos de fallas		1,5
Cuatro o más familias, roca muy fracturada		15	- Ondulados		0,5
Roca triturada.		20	- - Planos		
Índice de alteración J_a	Valor	Coficiente de reductor por la presencia de agua J_w	Valor	Presión de Agua (kg/cm ²)	
Diaclasas de pares sanas	0,75 - 1	Excavaciones secas o con < 5 l/min localmente	1 0,66	<1 1-2,5	
Ligera alteración	2,0	Afluencia media con lavado de algunas diaclasas	0,5 0,33	2,5-10 2,5-10	
Alteraciones arcillosas	4,0	Afluencia importante por diaclasas limpias	0,2-0,1 10,1-	>10 >10	
Con detritus arenosos	4,0	Ídem con lavado de diaclasas	0,05		
Con detritus arcillosos pre consolidados	6,0	Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo			
Id. Poco consolidados	8-12	Ídem mantenida			
Id. Expansivos	5-12				
Milonitos de roca y arcilla	5 10-20				
Milonitos de arcilla lisosa					
Milonitos arcillosos gruesos					
Parámetro SRF				Valor	
Multitud de zonas débiles o milonitos				10,0	
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura <50 m)				5,0	
Ídem con cobertura > 50				2,5	
Abundantes zonas débiles en roca competente				7,5	
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura <50 m)				5,0	
Ídem con cobertura >50 m				2,5	
Terreno en bloques muy fracturado				5,0	
Roca competente:				2,5	
Pequeña cobertura				1,0	
Cobertura media				0,5-2,0	
Gran cobertura				5-10	
Terreno expansivo				10-15	
Con presión de hinchamiento moderada					
Con presión de hinchamiento alta					

Anexo 7. Tabla de rangos de parámetros para el cálculo de MRMR (Laubscher, 1975).

(1) CLASES DE MACIZOS ROCOSOS										
CLASE	5		4		3		2		1	
RMR	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
SUBCLASE	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
COMPETENCIA	ROCA MUY MALA		ROCA MALA		ROCA REGULAR		ROCA BUENA		ROCA MUY BUENA	
COLOR	ROJO		CAFÉ		AMARILLO		VERDE		AZUL	

(2) PUNTAJE ASOCIADO A LOS DISTINTOS PARÁMETROS QUE DEFINEN EL ÍNDICE DE CALIDAD GEOMECÁNICA RMR																			
RMR (VALOR IN SITU) = P(IRS) + [P(FF/m) ó P(RQD + Js)] + P(C.D.) MRMR = RMR x COEFICIENTE DE AJUSTE																			
(a) RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL DE LA ROCA INTACTA IRS = P(IRS)																			
IRS (MPa)	1-4	5-11	12-24	25-34	35-44	45-64	65-84	85-104	105-124	125-144	145-164	165-185	> 185						
PUNTAJE	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20						
(b1) FRECUENCIA DE DISCONTINUIDADES POR METRO FF/m = P(FF/m), N = NÚMERO DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES																			
FF (1/m)	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,5	0,8	1	1,5	2	3	5	7	10	15	20	30	40	
PUNTAJE	N = 1:	40	40	40	40	38	36	34	31	29	26	24	21	18	15	12	10	7	5
	N = 2:	40	40	40	38	36	34	31	28	26	24	21	18	15	12	10	7	5	2
	N = 3:	40	40	38	36	34	31	28	26	24	21	18	15	12	10	7	5	2	0
(b2) RQD Y ESPACIADO ENTRE DISCONTINUIDADES RQD y Js = P(RQD) + P(Js)																			
RQD (%)			0-3	4-16	17-30	31-43	44-55	56-70	71-83	84-86	87-100								
PUNTAJE			0	2	4	6	8	10	12	14	15								
ESPACIADO (Js)																			
PUNTAJE	N = 1: Js = 25 x [(26.4 x Log X) + 45] / 100																		
	N = 2: Js = 25 x [(25.9 x Log Xmin) + 38] / 100 x [(30.0 x Log Xmax) + 28] / 100																		
	N = 3: Js = 25 x [(25.9 x Log Xmin) + 30] / 100 x [(29.6 x Log Xmed) + 20] / 100 x [(33.3 x Log Xmax) + 10] / 100																		
(c) CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES P(C.D.) = A/100 x B/100 x C/100 x D/100 x 40																			
PARÁMETRO	FACTOR DE AJUSTE (A, B, C o D segun indique la primera columna)																		
	CONDICIÓN DE HUMEDAD DE LA DISCONTINUIDAD																		
			SIN FLUJO DE AGUA		CON FLUJO DE AGUA														
			SECA		HUMEDA		25-125 l/min		> 125 l/min										
	DESCRIPCIÓN																		
A	SINUOSA EN VARIAS DIRECCIONES		100		100		95		90										
	SINUOSA EN UNA DIRECCION		95		90		85		80										
	CURVA		85		80		75		70										
	LIGERAMENTE CURVA		80		75		70		65										
SINUOSIDAD	RECTA		75		70		65		60										
	ESCALONADA IRREGULAR		95		90		85		80										
B	ESCALONADA SUAVE		90		85		80		75										
	ESCALONADA LISA		85		80		75		70										
	ONDULADA IRREGULAR		80		75		70		65										
	ONDULADA SUAVE		75		70		65		60										
	ONDULADA LISA		70		65		60		55										
	PLANA IRREGULAR		65		60		55		50										
	PLANA SUAVE		60		55		50		45										
	PLANA PULIDA		55		50		45		40										
C	SIN ALTERACIONES		100		100		100		100										
	ALTERADA Y MAS DEBIL QUE LA ROCA		75		70		65		60										
D	T M	MATERIAL CIZALLADO	GRUESO		90		85		80		75								
			QUE NO PRESENTA		MEDIO		85		80		75		70						
	P T	ABLANDAMIENTO	FINO		80		75		70		65								
			MATERIAL		GRUESO		70		65		60		55						
	R	CIZALLADO, EJ	MEDIO		60		55		50		45								
			TALCO		FINO		50		45		40		35						
	D A	MILONITA	I <= a		40		40		35		30								
			I > a		30		20		15		10								

Anexo 8. Plano Topográfico-Bira S.A.



N

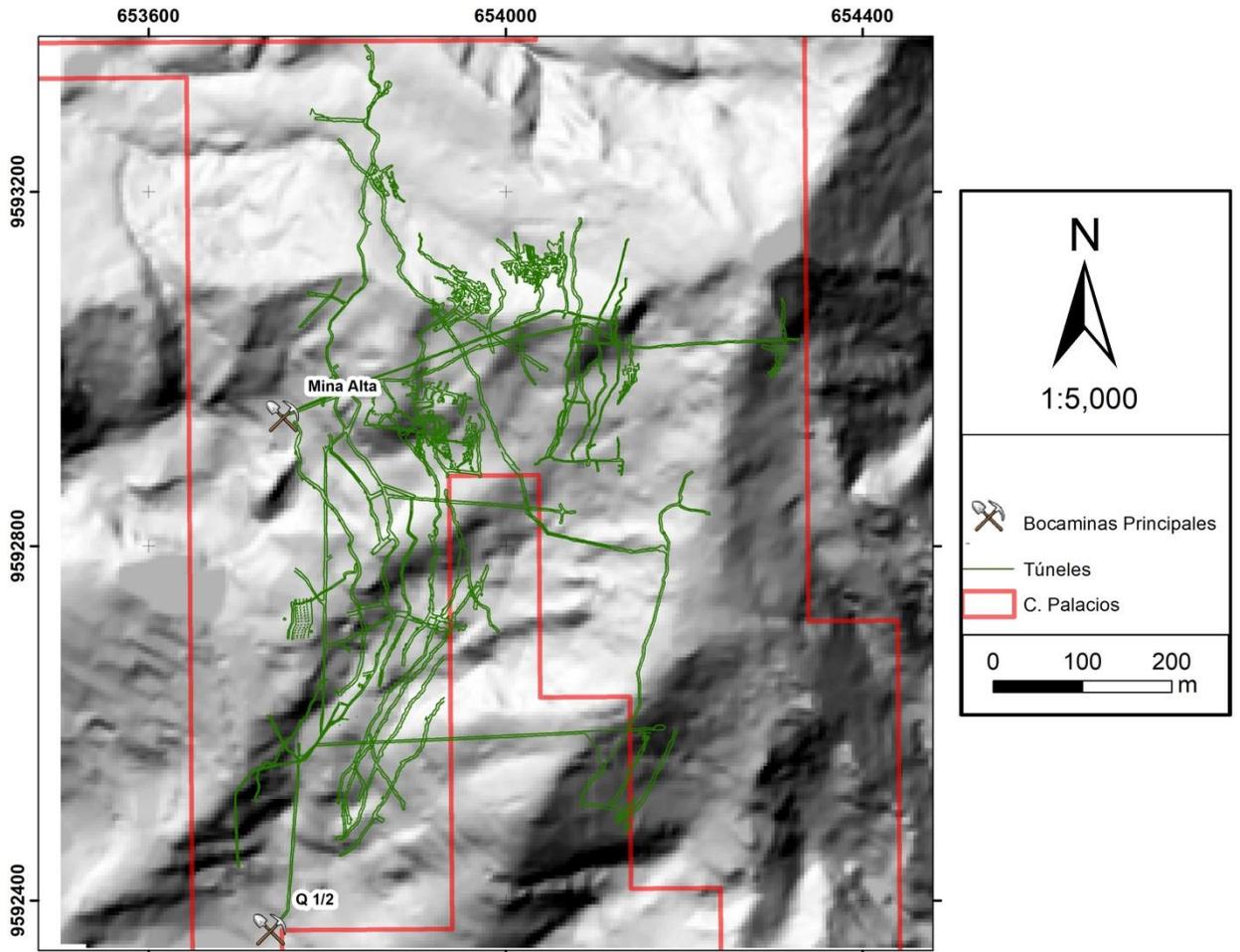
1:5,000

C. Palacios

Curvas de nivel

0 100 200 m

Anexo 9. Plano de Túneles-Bira S.A.



Anexo 10. Resumen de las estaciones realizadas con sus respectivas descripciones

Estación	Descripción	Código	X	Y
1	Roca altamente meteorizada (color naranja), antiguos botaderos (escombrera), mismo material todo el camino hacia la cruz.	2	654158.208	9592310.83
2	Al lado de mina el hormiguero hay bloques con grietas centimétricos de 2 a 5 cm con aparente inestabilidad, roca meteorizada, planos de fracturas medidos: 74°/ N 248°; 89°/ N 128°/89.	3	654225.193	9592384.48
3	Cerro El Calvario, abundante vegetación, camino de acceso a la cima hay deslizamientos, existen minas tapadas y cubiertas por vegetación.	0	654286.909	9592285.53
4	Gran deslizamiento, bloques de cm a m, meteorizado color naranja/negro, no existe mina en la cima, existen otros pequeños deslizamientos.	4	654312.649	9592479.43
5	Roca fracturada y meteorizada con material arcilloso, huecos pequeños para extraer material mineral, existe filtración de agua por las grietas.	3	654284.655	9592478.48
6	Se han colocado sacos con material arcilloso con la finalidad de sostener el talud debido al material de mina botado a lo largo del talud.	1	654238.187	9592525.98
7	Botadero, talud de 15 m, bloques de roca sueltos 10-30cm y material consolidado naranja con blanco, mina actualmente cerrada.	1	654262.756	9592539.1
8	Huecos, uno grande de 4 m x 2 m en la entrada, otro de 1 m x 1 m, material altamente meteorizado con material arcilloso, color naranja, dentro hay filtración de agua.	2	654218.681	9592554.1
9	Presencia de pequeño deslizamiento al pie del sendero, parte superficial corresponde a material botado desde la mina.	4	654172.919	9592555.83
10	Árboles que presentan estabilidad en el talud, botadero, terreno estable, abundante vegetación, presencia de huecos tapado por actividad minera.	0	654130.606	9592561.2
11	Botadero, afloramiento altamente meteorizado, posible peligro deslizamiento, bloques de roca 10-20cm, terreno no consolidado.	1	654235.719	9592581.6
12	Masivo rocoso, tobas.	0	653807.529	9592451.36
13	Entrada mina los morochos gran botadero de material.	1	653857.081	9592672.75
14	Pequeño deslizamiento por apertura de vía, al frente de este punto hay un gran botadero (casas que funcionan como bodega).	4	653968.157	9592742.45
15	Gran deslizamiento posiblemente por apertura de vía, altamente meteorizado (rojo) cubriendo macizo moderadamente meteorizado, plano de fractura de 44°/ N 241°.	3	654024.098	9592714.39
16	Botadero con grietas de 5 cm.	1	654017.358	9592737.84
17	Zonas de botadero, material poco consolidado, bloques pequeños 5-10cm, altamente meteorizado pardo naranja con arcillas blancas.	1	654047.895	9592803.03
18	Botadero, bloques de roca de 10-30cm, el material cae a la vía en dos ocasiones.	1	654076.916	9592893.21
19	Talud masivo compactado, veta material blanco arcilloso con datos estructurales de 70°/ N 195°.	3	654148.849	9592862.91
20	Botadero fuera del área del terreno de BIRA, material al pie de talud bloques de 10-15cm, en la vía hay pozas de agua color rojo.	1	653910.372	9592655.41

21	Suelo expuesto, abundante vegetación, evidencia de pequeño deslizamiento.	4	653899.303	9592608.88
22	Posible escarpe pequeño, casas en la parte de más arriba.	4	653901.791	9592565.87
23	Afloramiento de roca consolidada, terreno estable, no grietas, roca alterada (morado-negro).	2	653947.439	9592491.39
24	Pequeño deslizamiento (10m de ancho), roca meteorizada naranja pardo, no hay grietas, masivo.	4	653985.462	9592441.57
25	Pequeño deslizamiento, material meteorizado color pardo naranja y arcilla color blanco.	4	654135.505	9592425.42
26	Pequeño deslizamiento, roca meteorizada, viviendas en el sector.	4	654138.802	9592402.86
27	Terreno inestable, posible peligro de deslizamiento, en el talud hacia abajo se evidencia caída de bloques de decimétricos a métricos, arboles ayudan a la estabilidad del terreno.	4	653647.38	9592468.63
28	Deslizamiento pequeño	3	653681.282	9592483.73
29	Talud reforzado con bermas, canal que permite circulación de agua, ayudando a la estabilidad.	0	653629.748	9592559.55
30	Pequeña entrada para camiones que se encarga de la recolección de material, paredes meteorizadas bloque decimétricos de roca, arboles estables, no hay grietas, no hay presencia de agua.	2	653605.282	9592612.44
31	Material de relleno, altamente meteorizado, presencia de pequeño deslizamiento.	2	653612.859	9593129.1
32	Botadero, afloramiento con material de relleno y suelo altamente deteriorado, buena postura de árboles, no grietas, no agua, abundante vegeta.	1	653724.732	9593139.21
33	Macizo rocoso (se encontró huecos pertenecientes a dos testigos extraídos), planos de diaclasamiento, poco o nada meteorizado.	3	653768.982	9593237.33
34	Zonas de alteración argílica o milonitas por fallamiento, roca maleable, existen planos de fracturamiento.	3	653773.988	9593241.96
35	Grietas rellenas de material arcilloso, no hay agua fluyendo, meteorización media.	3	653665.561	9593233.4
36	Quebrada con bloques decimétricos de material rocoso, suelo deteriorado, no hay fluye agua por la quebrada, no hay grietas.	0	653602.203	9593349.15
37	Toba riolítica todo este alto	0	654110.359	9593184.17
38	deslizamiento	4	654338.017	9593005.14
39	Alteración. argílica avanzada	2	654256.74	9593026.49
40	Mina no derrumbada	0	654113.932	9593195.55
41	toba	0	654110.473	9593186.05
42	toba	0	654123.658	9593164.13
43	Mina derrumbada, la entrada con dirección hacia el este	0	654131.637	9593152.29
44	Mina derrumbada, la entrada con dirección hacia el este, frente a ella escombrera	0	654182.973	9593163.16
45	Pequeña galería	0	654185.38	9593139.6
46	deslizamiento	4	654256.522	9593029.37
47	túnel derrumbado	0	654265.746	9593032.23
48	toba con fuerte alteración	0	654251.948	9593016.88
49	túnel, toba no meteorizada	0	654256.812	9593001.95
50	túnel	0	654298.687	9593000.44

51	túnel	0	654328.129	9593004.05
52	túnel	0	654326.638	9593045.4
53	túnel	0	654347.553	9593065.6
54	túnel con entrada hacia el oeste, escombrera frente a ella	0	654440.786	9593160.88
55	límite de terreno de bira	0	653596.004	9593363.31
56	límite de terreno de bira	0	653531.816	9593302.05
57	Inicio de quebrada	0	653539.29	9593322.27
58	casa	0	653539.636	9593330.78
59	suelo, 4 metros de grosor, coluvial	0	653554.245	9593367.91
60	afloramiento de toba	0	653599.11	9593360.65
61	Zona de alteración, material arcilloso color rojo y blanco	2	653669.694	9593248.32
62	Coluvial	0	653628.628	9593198.29
63	zona de testificación, macizo rocoso	0	653756.764	9593237.35
64	casa	0	653759.808	9593266.75
65	Zona de botadero	1	653713.946	9593131.93
66	Relleno, suelo.	0	653616.877	9593141.59
67	pequeño deslizamiento	4	653614.084	9593131.31
68	coluvial pendiente de 36°	0	654222.652	9592535.85
69	deslizamiento	4	654240.389	9592513.26
70	andesita porfírica meteorizada	0	654290.429	9592477.03
71	andesita porfírica meteorizada	0	654281.249	9592430.94
72	Afloramiento con planos de fracturamiento, roca con meteorización baja, aparentemente estable, no hay agua en grietas, grietas rellenas arcilloso blanco.	3	654281	9592422

Anexo 11. Ubicación y cota de las estaciones de Susceptibilidad al Deslizamiento.

Estación	X	Y	cota
1	654049.66	9593291.95	1402.71
2	654121.88	9593237.11	1462.04
3	654205.14	9593134.15	1529.39
4	654263.85	9593028.36	1533.15
5	654105.58	9592895.15	1414.88
6	654147.96	9593293.90	1422.20
7	654014.46	9593163.09	1419.57
8	654139.79	9593252.34	1454.16
9	654269.80	9593208.91	1520.46
10	654060.79	9592879.96	1391.79
11	654254.69	9592923.56	1491.88
12	654246.71	9592793.43	1461.39
13	653713.00	9593132.00	1337.17
14	653778.00	9593128.00	1363.90
15	653783.00	9593085.00	1367.59
16	653837.28	9593079.29	1387.56
17	653876.50	9593062.82	1403.01
18	653811.00	9593136.00	1379.98
19	653770.55	9593048.75	1347.77
20	653816.28	9592942.71	1329.61
21	653816.54	9592756.44	1322.27
22	653895.00	9592766.00	1321.46
23	653680.00	9592646.00	1271.10

Anexo 12. Estaciones Geomecánicas levantadas en Túneles

ESTACIÓN	COORD. X	COORD. Y	COTA	NIVEL
E.G. 01	653875.20	9592578.99	1181.34	Q 1/2
E.G. 02	653943.23	9592582.07	1182.42	Q 1/2
E.G. 03	653798.81	9592745.57	1183.40	Q 1/2
E.G. 04	653809.00	9592957.64	1184.00	Q 1/2
E.G. 05	653951.07	9592849.69	1185.2	Q 1/2
E.G. 06	654128.03	9592763.30	1186.10	Q 1/2
E.G. 07	654180.90	9592792.93	1186.10	Q 1/2
E.G. 08	654153.27	9592673.62	1185.34	Q 1/2
E.G. 12	653917.61	9592727.55	1144.21	P
E.G. 13	653922.87	9592796.87	1144.20	P
E.G. 14	653890.18	9592735.05	1170.00	P 3/4
E.G. 15	654193.61	9593026.87	1318.52	Mina Alta
E.G. 16	654069.73	9592952.04	1317.41	Mina Alta
E.G. 17	654074.90	9593102.31	1317.45	Mina Alta
E.G. 18	654036.03	9593038.14	1318.00	Mina Alta
E.G. 19	654019.01	9593118.88	1317.75	Mina Alta
E.G. 20	653929.17	9593002.40	1317.26	Mina Alta