

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

Susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en los cerros del  
casco urbano del Cantón Eloy Alfaro (Durán).

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniería en Geología**

Presentado por:

Koraima Patricia Zambrano Peralta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## DEDICATORIA

En reconocimiento al apoyo, comprensión y sobre todo el cariño demostrado en los momentos más críticos, se dedica esa publicación a mis padres, Julieta Peralta y Claudio Zambrano.

A mis hermanos Patricio y Francisco.

A Valeria, Dylan, Daniela, Luis, Anita y a todas las personas que siempre confiaron en mi persona durante toda mi formación académica.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser guía espiritual en los momentos más difíciles a lo largo de mi formación académica.

Agradezco a mi familia por el apoyo y ayuda constante brindada a lo largo de mi formación profesional.

A mi director de tesis el Dr. Eddy Sanclemente por su guía.

Al ingeniero Ángel Valdiviezo Ajila jefe de gestión técnica y análisis de riesgo, por su guía, motivación y ayuda quien inspiro esta Tesis.

A los docentes por sus consejos y enseñanzas para mi formación profesional.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Koraima Patricia Zambrano Peralta* y doy mi 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”

---

Koraima Patricia Zambrano Peralta

# EVALUADORES

.....  
**Msc. Daniel Gárces**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Dr. Eddy Sanclemente**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El Municipio del cantón Durán en conjunto con la Escuela Superior Politécnica del Litoral ha desarrollado el proyecto, “Resiliencia climática de Durán: diseñando estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos (RESCLIMA- DURAN)”. Se desarrolla con la necesidad de estudiar, analizar y mitigar diferentes eventos adversos que han afectado a la población del cantón. Este trabajo de titulación se desarrolla dentro del componenete 1200 del proyecto denominado análisis de amenaza por movimientos en masa. Históricamente, en el cantón Durán se han presenciado flujos de detritos, caídas de rocas y movimientos complejos, que colocan en riesgo al 56.50% de las viviendas cercanas a los cerros. Este trabajo, clasifica los diferentes tipos de roca de los cerros utilizando el índice de Slope Mass Rating continuo (SMR-C) integrando parámetros: geológicos, geofísicos y geomecánicos levantados en el área de estudio. Por medio de funciones continuas desarrolladas por Tomas et al, 2007,obteniendo como resultado el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa de los cerros en el cual se identifica que aproximadamente el 40% del área se encuentra en la clase IV descrita como roca de mala calidad poniendo en riesgo a cuatro sectores urbanos.

**Palabras Clave:** movimientos en masa, susceptibilidad, cerros de Durán, Slope Mass Rating continuo (SMR-C).

## **ABSTRACT**

*The Durán's city hall with the Escuela Superior Politécnica del Litoral has developed the project "Durán's climate resilience: designing adaptation strategies for hydroclimatic risk(RESCLIMA-DURÁN)" . It was developed with the need to study, analyze and mitigate different adverse events that suffers the population of the canton. This degree work is developed within the 1200 component of the project called mass movement analysis. Historically in the Durán's canton there have been flows of debris, rock falls and complex movements that put at risk 56.50% of homes. his work classifies the different rock types of the hills using the Slope Mass Rating continue index (SMR-C) integrating parameters: geological, geophysical and geomechanical raised in the study area, by means of continuous functions developed by Tomas et al. , 2007, obtaining as a result the susceptibility map of mass movements of the hills in which it is identified that approximately 40% of the area is found in class IV described as poor quality rock putting four urban sectors at risk.*

**Keywords:** *mass movements, susceptibility, Durán's hills, Slope Mass Continuous rating (SMR-C).*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VII
SIMBOLOGÍA .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
CAPÍTULO 1 .....	16
1. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 Descripción del problema .....	18
1.2 Justificación del problema.....	19
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo general .....	20
1.3.2 Objetivos específicos .....	20
1.4 Descripción de la zona de estudio .....	20
1.4.1 Localización .....	20
1.4.2 Clima e hidrografía.....	21
CAPÍTULO 2.....	24
2. MARCO TEÓRICO .....	24
2.1 Marco geológico .....	24
2.1.1 Geodinámica y geología regional .....	24
2.2 Movimientos en masa (MM).....	27
2.3 Marco geofísico .....	31



2.3.1	Sondeos eléctricos verticales (SEV) y Tomografía eléctrica de resistividad (TER)	31
2.3.2	Inversión tomográfica .....	34
2.4	Marco geomecánico .....	36
2.4.1	Descripción de macizos rocosos .....	36
2.4.2	Caracterización de la matriz rocosa .....	37
2.4.3	Descripción de las discontinuidades .....	38
CAPÍTULO 3 .....		41
3.	METODOLOGÍA .....	41
3.1	Trabajo de campo .....	41
3.1.1	Geología .....	41
3.1.2	Geofísica .....	42
3.1.3	Geomecánica .....	45
3.2	Trabajo de gabinete .....	48
3.2.1	Geología .....	48
3.2.2	Geofísica .....	50
3.2.3	Geomecánica .....	54
CAPÍTULO 4 .....		64
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN: GEOLÓGIA .....	64
4.1	Geología de los cerros del casco urbano de Durán .....	64
4.2	Inventario de movimientos en masa históricos de Durán .....	79
CAPÍTULO 5 .....		81
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN: GEOFÍSICA .....	81
5.1	Tomografía eléctrica de resistividad RES1_NS .....	81
5.2	Tomografía eléctrica de resistividad RES2_NS .....	82
5.3	Tomografía eléctrica de resistividad RES3_NS .....	83

5.4	Tomografía eléctrica de resistividad RES4_NS .....	85
5.5	Tomografía eléctrica de resistividad RES5_EO.....	86
5.6	Correlación de datos directos e indirectos y generación de modelos geoeléctricos.....	87
CAPÍTULO 6.....		96
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN: GEOMECÁNICA.....	96
6.1	Variable primaria- unidades geomecánicas .....	96
6.1.1	Tercer parámetro - mapa geomorfológico .....	96
6.1.2	Cuarto Parámetro- Índice rock mass rating básico continuo (RMRb-C) 103	
6.2	Variable primaria- análisis cinemático de los cerros .....	107
6.3	Variable secundaria- cálculo y evaluación del índice del SMR-C .....	108
CAPÍTULO 7.....		118
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
7.1	Conclusiones .....	118
7.2	Recomendaciones .....	121
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	122
9.	ANEXOS .....	129
Índice de anexos.....		129
9.1	Correlación de columnas estratigráficas.....	131
9.2	Columnas representativas .....	134
9.3	Inventario de movimientos en masa registrados en el área de estudio. ....	138
9.4	Tomografías electricas.....	141
9.4.1	Tomografía eléctrica de resistividad RES1_NS .....	141
9.4.2	Tomografía eléctrica de resistividad RES2_NS .....	143
9.4.3	Tomografía eléctrica de resistividad RES3_NS .....	145

9.4.4	Tomografía eléctrica de resistividad RES4_NS .....	146
9.4.5	Tomografía eléctrica de resistividad RES5_EO .....	147
9.5	Geomorfología .....	149
9.6	Fichas de Levantamiento Geomecánico.....	151

## **ABREVIATURAS**

DEM Modelo Digital de Elevación

DESInventar Sistemas de Inventario de Desastres

TER Tomografía Eléctrica

SEV Sondeo Eléctrico Vertical

SIG Software de Información Geográfica

UG Unidad Geoeléctrica

MM movimientos en masa

## SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Oh	Ohmios
Cm	Centímetros
Dcm	Decímetros

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Deslizamientos ocurridos en los años de 2009, 2010, 2014 y 2015 en los cerros del casco urbano del cantón Eloy Afaro-Durán.....	19
Figura 1.2 Mapa de ubicación de los cerros del casco urbano del cantón Eloy Alfaro-Durán Escala 1:10.000, la línea amarilla delimita los sectores cercanos de cada uno de los cerros. ....	21
Figura 1.3 Clima local del cantón Eloy Alfaro-Durán. El rectángulo negro remarca el área de Durán modificado de INAMHI,2008. ....	22
Figura 1.4 Mapa Hidrográfico de los cerros del casco urbano del cantón Eloy Alfaro-Durán a escala 1:14.000, 1) Dirección oeste el río Guayas y 2) Dirección este el estero San Enrique, la línea amarilla delimita sectores cercanos a los cerros. ....	23
Figura 2.5 Escenario propuesto para la evolución geodinámica del CCOP (terrenos de Piñón y Guaranda) entre los tiempos de Coniaciano y Paleoceno.(Melle, 2008). ....	25
Figura 2.6 Literal A) geología simplificada de la Cordillera Chongón-Colonche, Litera B) geodinámica pertinente al área de estudio remarcada en un rectángulo rojo. ....	26
Figura 2.7 Estratigrafía del bloque de la formación Piñón (Luzieux et al., 2006). ....	27
Figura 2.8 Criterios para la clasificación y descripción de movimientos de masa. A) Ejemplos de caídas, desprendimientos y desplomes de rocas o masas rocosas, B) Ejemplos de Flujos, C) Movimientos en masa por volcamiento, E) Movimiento en masa con propagación lateral por licuación de masa de roca fracturada sobre rocas arcillosas F) Deslizamiento rotacional, G) Hundimientos de terreno. Varnes (Cruden & Varnes, 1996).....	30
Figura 2.9 Resistividades típicas de los materiales en [ $\Omega$ m], Fuente: (Pérez, 2010). 32	
Figura 2.10 Disposiciones de electrodos en el arreglo Schlumberger. Fuente: (Mamani,2016).....	33
Figura 2.11 Equipo para TER Terrameter LS. Fuente: ABEM, 2012. ....	34
Figura 2.12 Terrameter LS para levantamiento básicos de imágenes tomográficas de resistividad eléctrica. Fuente: (ABEM,2012). ....	34
Figura 2.13 Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades a partir de González de Vallejo et al. (2002). ....	39

Figura 2.14 Diagrama estereográfico, representación de planos estructurales de cuatro familias, la densidad de los polos se muestra en la concentración de Fisher en porcentaje del área total en escala de grises. Fuente: (Secretaria de Comunicaciones y Transporte, 2010).....	40
Figura 3.15 Distribución de levantamiento de tomografías eléctricas (línea roja) realizadas en el área de estudio, cuatro de ellas corresponde a el cerro “Las Cabras” A)-B)-C) y D), una de ellas corresponde al cerro “Los Almendros” E). La sombra verde representa el área de estudio. ....	43
Figura 3.16 Levantamiento de tomografías eléctricas, literal a) Instalación de electrodos para la toma de datos, literal b) arreglo de los cables para la toma de datos, literal c) configuración del equipo para la toma de las Tomografías Eléctricas.....	44
<b>Figura 3.17 Primera carilla de la ficha de datos geomecánicas.</b> (Gonzáles de Vallejo et al, 2002) <b>modificado por</b> (Valdiviezo Ajila, 2014). ....	46
Figura 3.18 Segunda carilla ficha de datos geomecánicas. (Gonzáles de Vallejo et al, 2002) modificado por (Valdiviezo Ajila, 2014).....	47
Figura 3.19 Distribución de los tres tipos de datos levantados en campo: 144 estaciones principales (EP), 313 puntos de control (PC) y 201 medidas de control (MC). ....	49
Figura 3.20 Corrección de puntos malos en la línea RES_1 NS.....	51
Figura 3.21 Código de configuración de elevación, altitud y longitud del archivo .dat para colocar la corrección topográfica. ....	52
Figura 3.22 Visualización de coordenadas geográficas (x, y, z) del archivo .dat en el software RES2DINV, literal a) muestra codificación del archivo con los datos de equipo navegador GPS Yuma 2, marca Trimble, en este se distinguen altos topográficos y con topografía no cercana a la realidad, y en el literal b) Topografía con la extracción de puntos en el DEM de la ubicación de los electrodos.....	53
Figura 3.23 Mapa de Aspectos de la zona de estudio. ....	54
Figura 3.24 Mapa de pendientes de la zona de estudio. ....	55
Figura 3.25 Sistema de clasificación de macizo rocosos (RMR), numeral 4. Fuente: (Bieniawski Z., 1989) .....	58
Figura 3.26 Factores de ajuste de la Clasificación SMR (Romana, 1985).....	60
Figura 3.27 Herramienta utilizada para el cálculo del SMR-C. ....	62

Figura 3.28 Algoritmo para el cálculo del índice de calificación de masa de pendientes (Slop Mass Rating SMR-C) utilizando software de información geográfica (SIG). ....	63
Figura 4.29 Literal a) Cerros “Las Cabras” con la ubicación de los sectores, el rectángulo rojo indica el sur del cerro en donde se tomó la foto adyacente, literal b) ladera oeste del cerro, en líneas rojas punteadas se muestran zonas de fracturación, identificación de pliegues con líneas punteadas de color verde. ....	64
Figura 4.30 Afloramientos presentes al sueste del cerro “Las cabras” en el sector de colinas del valle. Literal b) anticlinal de lutita silicificada. Literal c) afloramiento de lutita silicificada So estratificación (línea entrecortada de color amarillo). ....	65
Figura 4.31 Cerros “Las Cabras” con su sectorización, el rectángulo rojo indica el sector centroeste del cerro en donde se tomaron las fotos del literal b) Flujo de detritos en líneas punteadas se delimita la zona de reptación del material rocoso. ....	66
Figura 4.32 Cerros “Las Cabras” con su sectorización, el rectángulo rojo indica el sector central del cerro en donde se tomaron las fotos. Literal a) Contacto entre lutita silicificada de color marrón y arenisca fina de tonalidades grises, con presencia de meteorización esferoidal. Literal b) contacto de arenisca fina y de lutita silicificada de color marrón, la línea amarilla entrecortada delimita la estratificación So.....	67
Figura 4.33 literal a) Cerros “Los Almendros” con su sectorización, literal b) afloramiento de arenisca gruesa, existen zonas de fracturación indicadas con la línea roja.....	68
Figura 4.34 Cerros “Del Tres” con su sectorización, el rectángulo rojo se remarca un sector centro del cerro. Literal b) Afloramiento presente en el cerro “Del Tres”, presencia de zonas de fracturación. So estratificación. ....	69
Figura 4.35 Afloramientos presentes en el Cerro “Del Tres”. Literal a) zonas de fracturación de rocan, literal b) zona de fracturación. ....	70
Figura 4.36 Afloramientos presentes en el Cerro “La Cantera”. Literal a) contacto (línea roja) presente entre lutita silicificada y arenisca fina. Litera b) zonas de fracturación (línea roja).....	71
Figura 4.37 Estructuras secundarias presentes en el sustrato rocoso en el área de estudio. (J) junta o diaclasa. (Valdiviezo Ajila, 2014) .....	72
Figura 4.38 Cerros “Del Tres” con su sectorización. El rectángulo rojo se remarca el sector San Enrique. Literal b) Afloramiento perteneciente al cerro “San Enrique”. ....	73



Figura 4.39 Ubicación espacial de las 144 columnas estratigráficas (puntos naranjas) levantadas en campo, la línea azul demarca los perfiles de litocorrelación en los cuales se indica la localización de la columna estratigráfica enumerada con respecto a la correlación. ....	74
Figura 4.40 Columnas representativas de cada cerro del área de estudio. ....	75
Figura 4.41 Mapa litoestratigráfico perteneciente a los cerros del casco urbano del cantón Durán. ....	77
Figura 4.42 Deslizamientos Históricos de los cerros del casco urbano de Durán registrados por el GAD de Durán. ....	79
Figura 5.43 Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES1_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ohm-m]. ....	82
Figura 5.44 Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES2_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ohm-m]. ....	83
Figura 5.45 Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES3_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ohm-m]. ....	84
Figura 5.46 Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES4_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ohm-m]. ....	86
Figura 5.47 Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES3_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical	

correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ohm-m]. ....	87
Figura 5.48 Distribución espacial de datos directos e indirectos, en el Cerro “Las Cabras” y el cerro “San Enrique”. 1) RES 1_ NS, 2) RES 2_ NS, RES 3_ NS, 4) RES 4_ NS y 5) RES5_EO. ....	88
Figura 5.49 Diagrama de dispersión de datos de profundidad versus resistividad, los puntos azules representa la relación de estos parámetros. ....	89
Figura 5.50 Tomografías eléctricas ubicadas en el cerro “Las Cabras”, identificadas en el rectángulo rojo. ....	91
Figura 5.51 Interpretación de la RES_1NS, RES_3NS y RES_4 NS correlacionada con datos geofísicos directos e indirectos, literal a) Modelo de resistividades en 2D y literal b) Modelo de unidades geoelectricas. (Unidades geoelectricas). ....	93
Figura 5.52 Interpretación de la RES_2NS, literal a) Modelo de resistividades en 2D con correlación del SEV_12 y P_4, literal b) Modelo de unidades geoelectricas, c) Columna litológica interpretada en el centro a los 60 m de apertura, y ubicación espacial de la RES2_ NS, en el electrodo 10 se ubica el SEV_12 y en electrodo 19 se ubica la P_4. (Unidades geoelectricas).....	94
Figura 5.53 Interpretación de la RES_5NS, literal a) Modelo de resistividades en 2D sin correlación, literal b) Modelo de unidades geoelectricas, c) Columna litológica interpretada en el centro a los 60 m de apertura, y ubicación espacial de la RES5_EO. (Unidades geoelectricas) .....	95
Figura 6.54 Mapa Geomorfológico de los cerros del casco urbano del cantón Durán utilizando la metodología de (Van Zuidam, 1986) y (Pedraza-Gilsanz, 1996). Las formas denudacionales (código D1 a D5, con sub-unidades) y formas estructurales (código S1 y S2).Literal A) y Literal B). ....	98
Figura 6.55 Valores mínimos de RMR básico continuo seleccionados de cada unidad litológica presente en el área de estudio. Arenisca Gruesa (1), Brecha-Arenisca y Brecha-Lutita (2), Arenisca Fina (3), Arenisca-Lutita (4), Lutita (5).....	105
Figura 6.57 Unidades geomecánicas generadas con la correlación de los parámetros : litoestratigráfico, geofísico, geomorfológico y RMR-C, del área de estudio .....	106

Figura 6.58 Análisis de discontinuidades presentes en el área de estudio, en la red estereográfica los planos de color rojo muestran juntas y el plano azul estratificación. .....	107
Figura 6.59 A) Modelo cuña/planar DipDir 169/Dip 20, B) Modelo cuña/planar DipDir 306/Dip 78. C) Modelo cuña/planar DipDir 51/Dip 78, D) Modelo cuña/planar DipDir 355/Dip 74. Los rectángulos rojos indican los sectores con calidad de roca mala ..	109
Figura 6.60 A) Modelo volcamiento DipDir 169/Dip 20, B) Modelo volcamiento DipDir 306/Dip 78. C) Modelo volcamiento DipDir 51/Dip 78, D) Modelo volcamiento DipDir 355/Dip 74. Los rectángulos rojos indican los sectores con calidad de roca mala...	112
Figura 6.61 Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa de los cerros del casco urbanos del cantón Durán.....	115
Figura 6.62 Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa, en el peor escenario (RMR-c mínimos) y deslizamientos históricos ocurridos de los cerros del casco urbanos del cantón Durán.....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de los movimientos en masa de Varnes. Fuente: Modificado de Varnes (Cruden & Varnes, 1996).....	28
Tabla 3.2 Adquisición de datos con el método geofísico eléctrico de tomografías eléctricas dentro del área de estudio, en la celda de coordenadas geográficas se indican las coordenadas iniciales (o), medias (m) y finales (f) de la línea tomográfica. ....	42
Tabla 5.3 Clase de litológicas interpretadas por CITAP en el 2014. ....	90
Tabla 5.4 Unidades geoelectricas (UGE) según litologías inferidas geofísicamente. ....	90
Tabla 6.5 Resistencia a la compresión simple de muestras tipo para cada litología. Las muestras se codifican con las iniciales del tipo de litología Arenisca Gruesa (AG), Arenisca Fina (AF), Lutita (L), Arenisca-Lutita (AL), Brecha-Arenisca (BA) seguido de - Durán .....	103
Tabla 6.6 Valores obtenidos de los parámetros del RMR-C de cada una de las fichas geomecánicas. La litología se codifica con las iniciales: Arenisca Gruesa (AG), Arenisca Fina (AF), Lutita (L), Arenisca-Lutita (AL), Brecha-Arenisca (BA). Las fichas geomecánica se codifica con (EG) seguido de – con el número de ficha levantada	104
Tabla 6.7 Planos generales establecidos .....	108
Tabla 6.8 Clasificación del índice del SMR-C según Romana (1985).....	108

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El impacto de la fluctuación climática genera que las ciudades sean susceptibles a desastres naturales, debido a sus altas densidades poblacionales, poblaciones vulnerables y limitada infraestructura en asentamientos informales (IPPC, 2007) (IPCC, 2014b). Según la base DesInventar, durante 1980 a 2018 se registrarán diversos eventos en Ecuador de los cuales el 86% ocurrieron en centros urbanos, siendo los deslizamientos y las inundaciones los fenómenos recurrentes (DESINVENTAR, s.f.) .

Estudios de riesgos señalan que las áreas urbanas implican una permanente transformación del territorio que degrada el medio, acentuando, acelerando o generando la aparición de diferentes amenazas, agudizando el riesgo por exposición a factores extrínsecos o intrínsecos, que de no ser estudiados resultan en una mala planificación del ordenamiento territorial (FLACSO-Ecuador, 2012).

Esta problemática se ve exacerbada y magnificada en ciudades con altas densidades poblacionales, que son afectadas por procesos de origen geológico e hidrometeorológico repetitivos (Secretaría de Gestión de Riesgos-SGR, 2014). En este marco se desenvuelven varios cantones de la franja litoral en Ecuador, entre ellos el cantón Durán considerando como la sexta ciudad mas grande del Ecuador, posee el quinto lugar de la región costa en aglutinar el 44% de hogares dispuestos en asentamientos irregulares, donde el 97% de los habitantes se encuentran en situación de amenaza, debido a que el porcentaje de crecimiento del área solo supera el 2% del porcentaje de crecimiento poblacional (Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos-SHAH, 2015).

Durán cuenta con una densidad poblacional de 860 habitantes por km<sup>2</sup> en el casco urbano (GAD Municipio del Cantón Durán, 2015) ubicandose en la categoría mas alta de población sugerido por el CAT-MED (CAT-MED Platform for Sustainable Urban Models, 2010).

El territorio urbano del cantón se encuentra aproximadamente asentado en un 95% sobre un suelo poco cohesivo de origen aluvial, mientras que el 5% restante yace sobre las rocas en los cerros. En estos cerros, se observan asentamientos humanos informales, actividades de tipo extractiva y áreas de espacio comunales, siendo los asentamientos informales los elementos que presentan una mayor exposición de ser afectados por movimiento en masa (Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Durán, 2015).

Historicamente, el cantón ha sido afectado por fenómenos de movimientos en masa. En el 2015, el Municipio de Durán, declaró en emergencia parte del cerro. (El Telégrafo, 2015). Los movimientos en masa (MM) constituyen una amenaza continua que puede generar pérdidas económicas y humanas, de la cual se estima, que tenga un aumento en las próximas décadas, como resultado del cambio climático y el aumento de vulnerabilidades especialmente en zonas urbanas (Poussin, 2015) (IPCC, 2014b).

El control de estas problemáticas recae en los GAD municipales, ya que estos deben garantizar el ordenamiento territorial, planificación urbana y gestión de suelos (SENPLADES, 2013a). Sobre esta base el Municipio del cantón Durán, a través de la Dirección de Gestión de Riesgos conjuntamente con la Escuela Superior Politécnica del Litoral se encuentran realizando el proyecto “Resiliencia climática de Durán: Diseñando Estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos (RESCLIMA- DURAN)”. (ESPOL- Decanato de Investigación, 2017).

Sobre este antecedente, se desarrolla el presente proyecto de titulación, dentro del componente 1200 del proyecto (RESCLIMA- DURAN) correspondiente al análisis de amenazas por movimientos en masas del cantón.

## 1.1 Descripción del problema

Varios son los factores que inciden en los movimientos en masa, entre las cuales se puede citar las precipitaciones (cantidad y aparición anual), la pendiente natural, la naturaleza de la roca, la existencia de fallas geológicas, la presencia de discontinuidades en una masa rocosa y la estratificación de la roca, las características mecánicas de la roca y el uso antrópico de los suelos, etc. (D'Ercole & Trujillo, 2003). Es importante destacar que este último factor, se puede mitigar con un correcto plan de ordenamiento territorial.

Durán posee un área urbana de 58.6 km<sup>2</sup> que constituye el 27.83% de toda su extensión, a pesar de la reducida área consolidada cuenta con el 97.84% de las viviendas, de las cuales aproximadamente un 40% se ubica en las cercanías de los cerros, donde la mayoría de sus habitantes ha vivido por más de 20 años (Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Durán, 2015) (ESPOL-TECH, 2014).

Históricamente, se han detectado eventos adversos relacionados a procesos erosivos y deslizamientos en las laderas del cerro (Figura 1.1), asociados principalmente por la calidad de roca, precipitaciones y además la actividad antrópica, como son: construcción de viviendas, generación de caminos, y actividades cotidianas, que favorecen a la meteorización del suelo, colocando en riesgo al 56.50% de las viviendas asentadas (ESPOL-TECH, 2014).

¿Los cerros ubicados en el casco urbano del cantón Durán, pueden ser considerados como una zona de riesgo para la población asentada a sus cercanías generando un peligro geotécnico?.



**Figura 1.1 Deslizamientos ocurridos en los años de 2009, 2010, 2014 y 2015 en los cerros del casco urbano del cantón Eloy Afaro-Durán.**

## **1.2 Justificación del problema**

Las afectaciones provocadas por deslizamientos a los sectores urbanos del cantón, requiere que el GAD Municipal del cantón Durán, estudie y conozca zonas de susceptibilidad a movimientos en masa de los cerros, que permitirá sugerir medidas de ordenamiento territorial con el fin de mitigar y mejorar las condiciones de vida de los habitantes asentados en la cercanías de los cerros.



## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Caracterizar las zonas susceptibles a movimientos en masa de los cerros del casco urbano del cantón, utilizando la calificación de masa en pendiente - continuo (Slope Mass Rating / SMR-C) para la elaboración de un mapa de amenaza por deslizamientos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar un mapa de unidades litológicas de los cerros del casco urbano del cantón, por medio del levantamiento de campo para definir la disposición espacial de las rocas presentes.
- Categorizar las unidades geomecánicas, de acuerdo con el calculando del índice calificación de masa en pendiente - continuo (Slope Mass Rating / SMR-C) continuo utilizando sistemas de información geográfica.
- Evaluar la estabilidad de las unidades geomecánicas de acuerdo con el puntaje obtenido del índice calificación de masa en pendiente - continuo (Slope Mass Rating / SMR-C), para elaborar un mapa de amenaza por movimientos en masa del cerro.

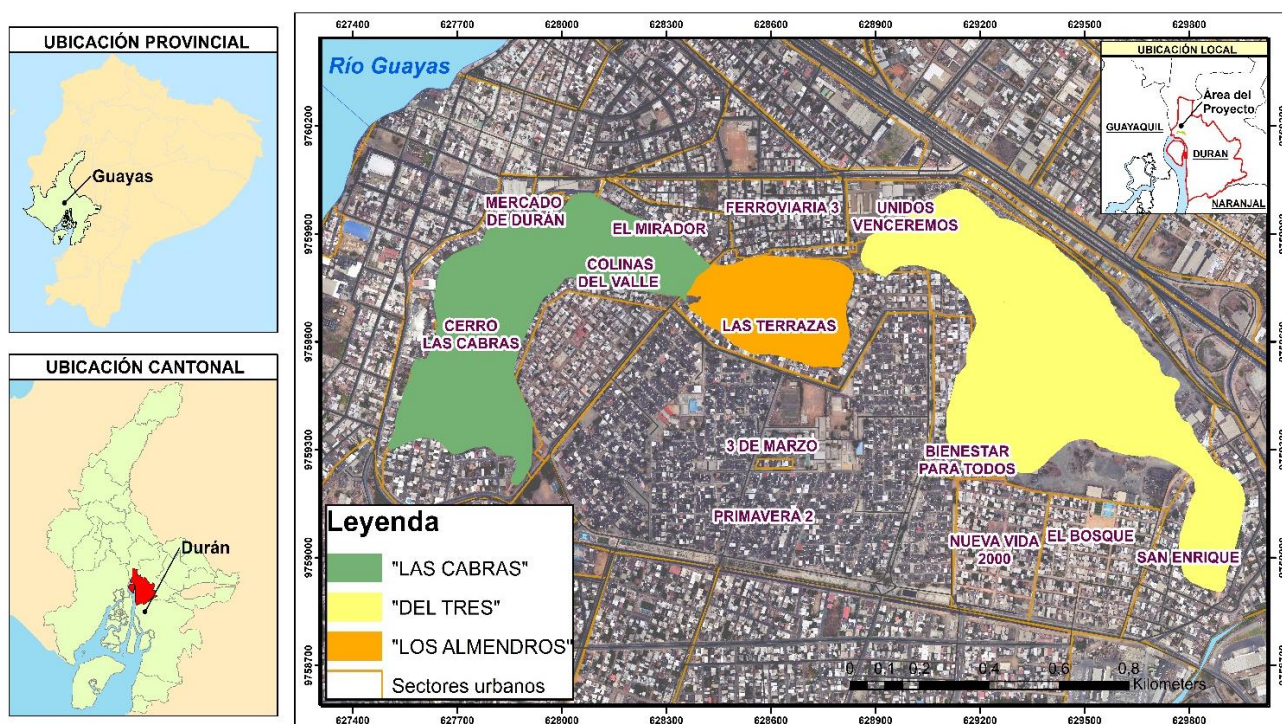
## **1.4 Descripción de la zona de estudio**

### **1.4.1 Localización**

La zona de estudio está comprendida por el conjunto de relieves ubicados en el casco urbano del cantón Durán en la provincia del Guayas. Este conjunto de relieves está constituido por los siguientes cerros de acuerdo con su ubicación: en su parte occidental por el cerro “Las Cabras”, en su parte central por el cerro “Los Almendros”, y en la parte noreste por el cerro “Del Tres” (Figura 1.2).

Estos cerros se extienden de oeste a este desde el margen izquierdo del Ría Guayas 3 km aproximadamente, se caracterizan por presentar taludes rectos con pendientes suaves hacia el sur y empinadas de este a oeste.

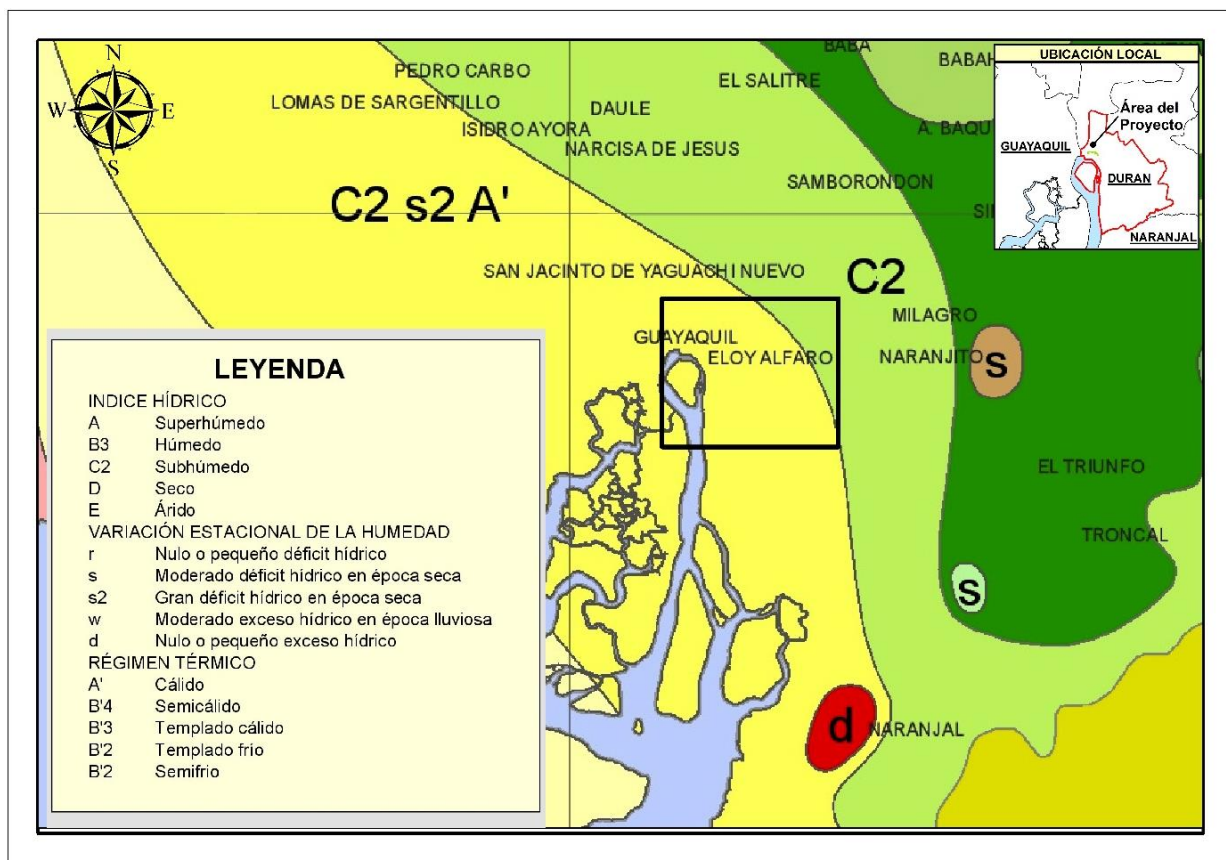
El área de los cerros comprende 13 sectores urbanos: Colinas del Valle, Cerro las cabras, Mercado de Durán, El Mirador, Ferroviaria 3, Cda. Primavera 2, Las Terrazas, 3 de marzo, Unidos Venceremos, Bienestar para todos, Nueva Vida 2000, El Bosque y San Enrique(Figura 1.2).



**Figura 1.2 Mapa de ubicación de los cerros del casco urbano del cantón Eloy Alfaro-Durán Escala 1:10.000, la línea amarilla delimita los sectores cercanos de cada uno de los cerros.**

#### 1.4.2 Clima e hidrografía

De acuerdo con el mapa de climas del Ecuador de INAMHI, 2008, los climas existentes en el cantón Durán son el subhúmedo con gran déficit hídrico en época seca y cálido, lo cual es consistente con los índices de precipitación, concentrados en la zona norte y noroccidente (GAD municipal de Durán, 2015) ( Figura 1.3).



**Figura 1.3** Clima local del cantón Eloy Alfaro-Durán. El rectángulo negro remarca el área de Durán modificado de INAMHI,2008.

El cantón Durán posee un patrón estacional constante típico de la región litoral del Ecuador, con períodos lluviosos entre los meses de diciembre a mayo, lo que produce una concentración de precipitaciones en 7 meses con un promedio aproximado de lluvias acumuladas de 965 mm y un período seco a muy seco de 5 meses (RESCLIMA, DURAN, 2018). La temperatura global promedio de la ciudad de Durán bordea los 27.3 °C, siendo el mes de agosto el más frío con 21.8° C y el más cálido en diciembre con 32.5° C (RESCLIMA, DURAN, 2018).

El cantón Durán se encuentra ubicado en la cuenca baja del Río Guayas, por sus características de relieve se encuentra atravesado por una serie de esteros y canales propios de la dinámica fluvial del estuario del Río Guayas. El sistema de drenaje de los cerros se encuentra condicionado por la dirección de sus laderas, donde se puede

observar dos sistemas preferenciales: **1)** hacia el oeste, aquellas que desembocan en el río Guayas y **2)** hacia el este, aquellas que desembocan en el cauce principal de la cuenca urbana del estero San Enrique. (Ver figura 4)



**Figura 1.4 Mapa Hidrográfico de los cerros del casco urbano del cantón Eloy Alfaro-Durán a escala 1:14.000, 1) Dirección oeste el río Guayas y 2) Dirección este el estero San Enrique, la línea amarilla delimita sectores cercanos a los cerros.**

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TÉORICO

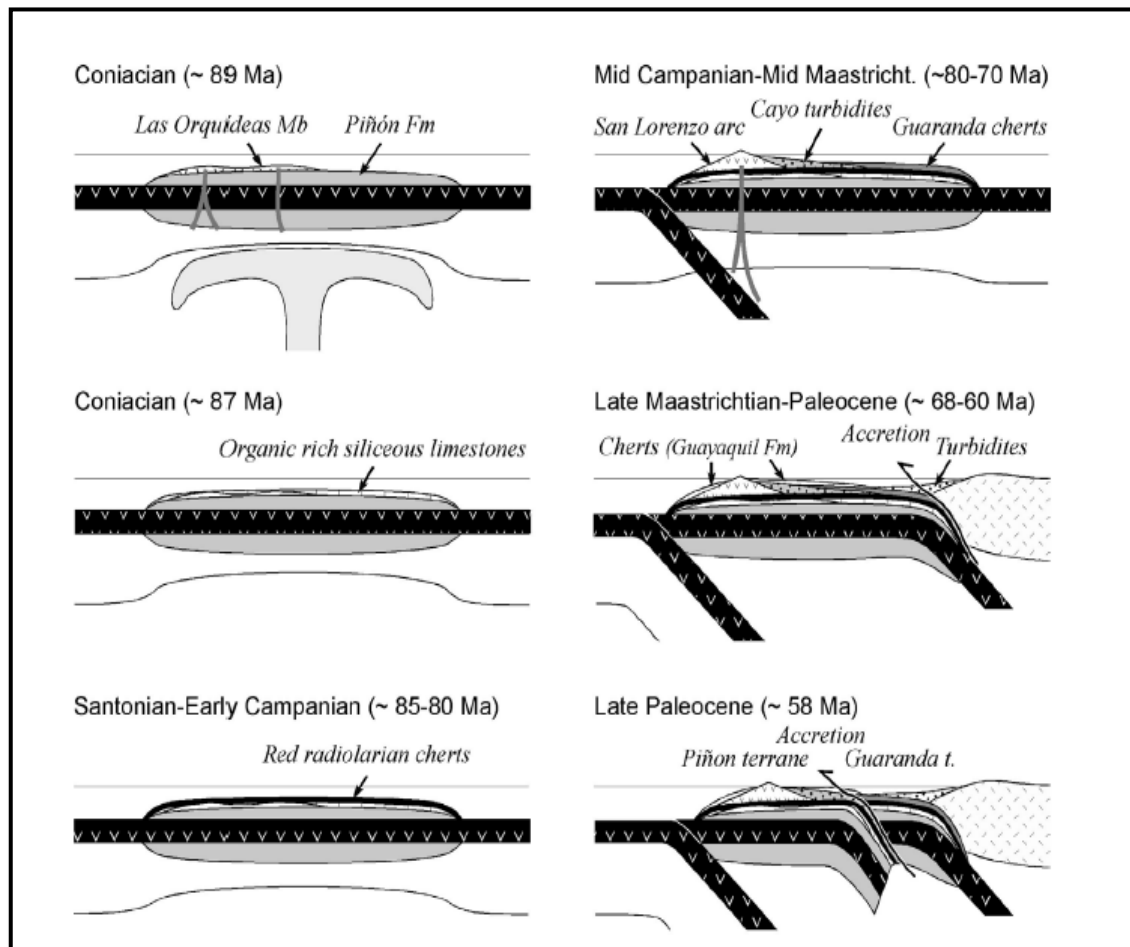
### 2.1 Marco geológico

#### 2.1.1 Geodinámica y geología regional

El litoral ecuatoriano conforma la región de antearco del Ecuador. De acuerdo con Melle, y otros, 2008, la región de antearco inicia su formación con el sumergimiento de la Formación Piñón (basamento), como producto de una pluma mantélica en el paleo Océano Pacífico sobre la Meseta Oceánica Colombiana del Caribe (CCOP). Posteriormente a inicios del Coniacino ( $89.8 \pm 0.3$  Ma) son emplazadas brechas volcánicas y lavas (Miembro Orquídeas) en la parte superior del CCOP (Figura 2.5).

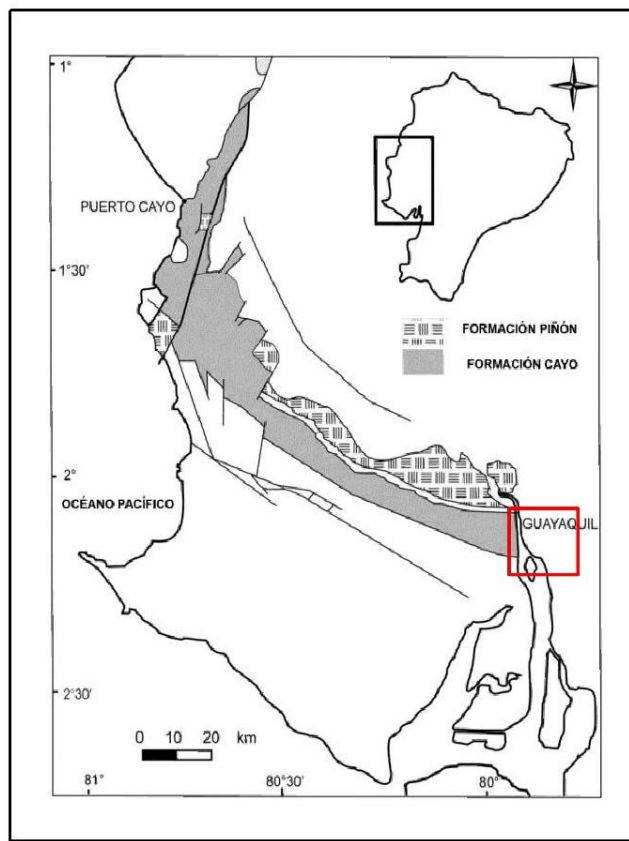
Las formaciones Calentura junto con el terreno Piñón formaban parte de la Meseta del Caribe; mientras que, las formaciones de San Lorenzo y Cayo representan las facies proximales y distales de un arco de isla de edad Campaniano Medio- Maastrichtiense., este período estuvo marcado por la depositación de margas y areniscas marinas profundas, y el desarrollo incipiente de un arco insular (tobas), que luego abarca la depositación de turbiditas volcanoclásticas (Fm. Cayo) (Melle, y otros, 2008)(Figura 2.5).

Entre  $\approx 68$  Ma y  $\approx 58$  Ma, el terreno Piñón recibió sedimentos pelágicos, cherts silíceas negras ricas en radiolarios (Fm. Guayaquil), sin ninguna entrada detrítica (Figura 2.5). En cuanto al aporte no detrítico, se ha comprobado que una parte oriental del CCOP estuvo en contacto con el margen continental ecuatoriano en el Maastrichtiense Tardío (Terreno Guaranda de la Cordillera Occidental del Ecuador)), mientras que el terreno Piñón recibió cuarzo detrítico discordante (Jaillard et al., 2004) (Figura 2.5).



**Figura 2.5** Escenario propuesto para la evolución geodinámica del CCOP (terrenos de Piñón y Guaranda) entre los tiempos de Coniaciano y Paleoceno. (Melle, 2008).

El área de estudio se ubica en la Cordillera Chongón-Colonche con orientación NNW-SSE, (Lebrat et al., 1987; Reynaud et al., 1999; Luzieux et al., 2006), limitada al norte por las fallas Colonche y Cascol de dirección NW-SE, al norte de la falla Cascol se han identificado cabalgamientos en dirección NNE-SSW. Estratigráficamente el área de estudio presenta a el Bloque Piñón, Formación Cayo y la Formación Guayaquil (Figura 2.6, literal A)).



**Figura 2.6 Literal A) geología simplificada de la Cordillera Chongón-Colonche, Litera B) geodinámica pertinente al área de estudio remarcada en un rectángulo rojo.**

La Formación Cayo es una secuencia de rocas volcanoclásticas y sedimentarias marinas de 2500 metros de espesor (Figura 2.7). La parte basal consiste en gruesas secuencias granulosas de rocas volcanoclásticas, probablemente depositadas contemporáneamente con actividad de arco (Machiels et al., 2008). La parte superior, compuesta en turbiditas y flujos de escombros, y muestra una tendencia progresiva de adelgazamiento grano decreciente (Thalman, 1946; Wallrabe-Adams, 1990; Benítez 1990, 1995; Reynaud et al., 1999; Luzieux et al., 2006).

La Formación Guayaquil presenta un espesor de 400 m de lutitas pelágicas, cherts, tobas síliceas y algunas capas delgadas de turbiditas completamente desprovista de material continental (Thalman, 1946; Faucher et al., 1971; Jaillard et al., 1995). La Formación Guayaquil se encuentra superpuesta inconformemente sobre las calizas turbidíticas de la Formación San Eduardo y los sedimentos clásticos del grupo Ancón (Benítez, 1995) (Figura 2.7).

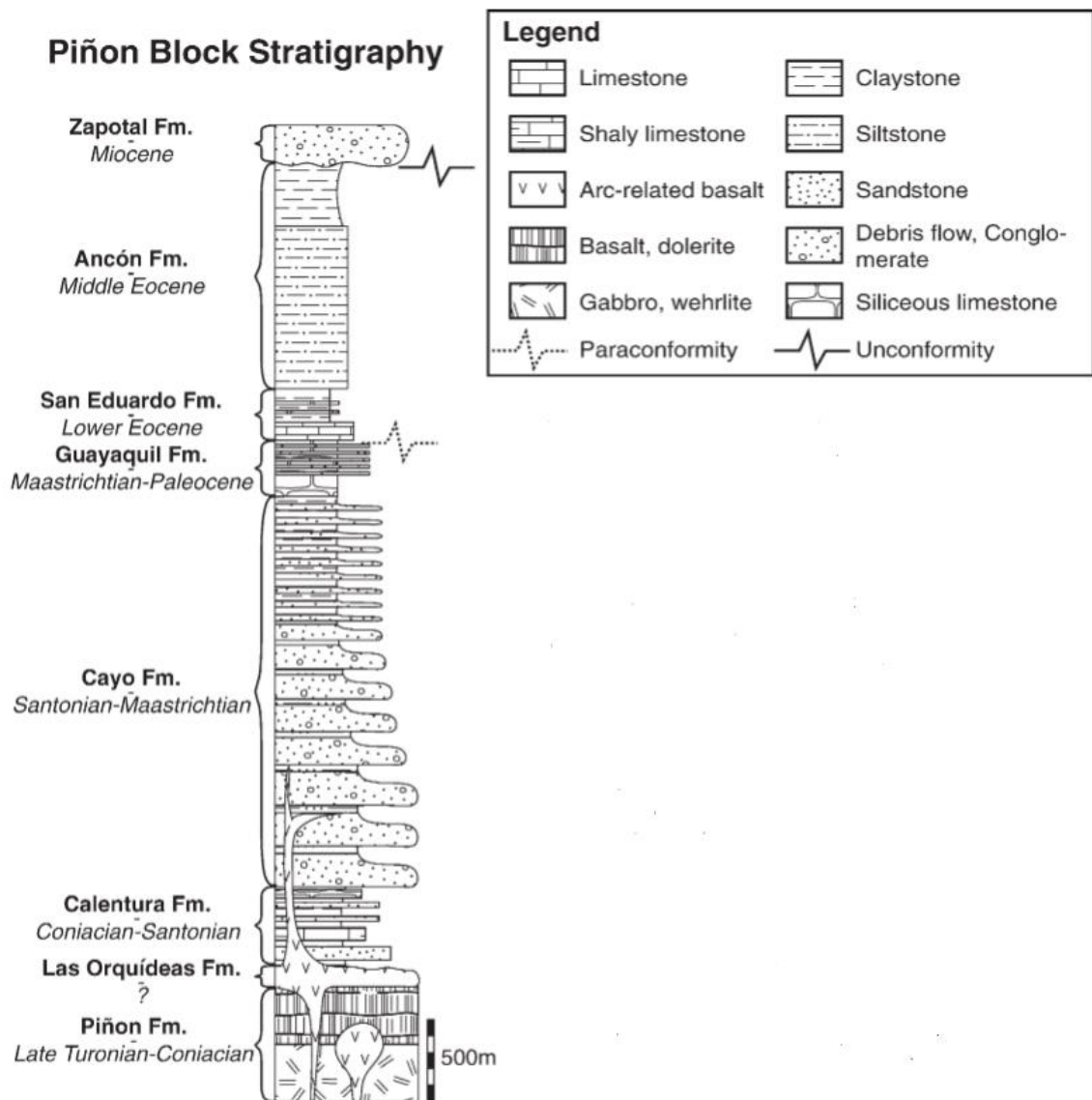


Figura 2.7 Estratigrafía del bloque de la formación Piñón (Luzieux et al., 2006).

## 2.2 Movimientos en masa (MM)

Los movimientos en masa comprenden procesos geológicos altamente destructivos que pueden afectar a las comunidades (Suarez, 1998), estos han sido clasificados en diversos tipos por autores como Sharpe (Sharpe, 1938), Terzaghi (Terzaghi, 1950) y Varnes (Cruden & Varnes, 1996), este último toma en cuenta el tipo de movimiento y el material involucrado, haciendo referencia al suelo y roca, del cual se obtiene cinco tipos de movimientos: caídas, basculamientos, deslizamientos, separaciones laterales, flujos y complejos (Tabla 2.1).



**Tabla 2.1 Clasificación de los movimientos en masa de Varnes. Fuente: Modificado de Varnes (Cruden & Varnes, 1996).**

Tipo de movimiento		Tipo de movimiento		
		Roca	Suelo	
			De grano grueso	De grano fino
Caídas		Caídas de rocas	Caídas de detritos	Caída de suelos
Basculamiento		Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Deslizamiento	Rotacionales	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos.
	Traslacionales	Deslizamiento traslacional de rocas	Deslizamiento traslacional de detritos	Deslizamiento traslacional de suelos
Separaciones laterales		Separación lateral en rocas	Separación lateral en detritos	Separación lateral en suelos
Flujos		Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujos de suelos
Movimientos Complejos		Combinación de dos o más tipos.		

Los movimientos de caída de rocas se originan por el desprendimiento de material de un talud con pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en el cual ocurre ningún o muy poco deslizamiento de corte y desciende principalmente, a través del aire por caída libre, asociados o rodando (Suarez, 1998), las caídas de roca por lo general son movimientos intermitentes en caída libre, asociados a escarpes de rocas duras y fracturadas (Vargas, 2000). Con respecto a los basculamientos son movimientos producidos por efecto de la gravedad y la rotación, hacia delante de un material rocoso, alrededor de un punto de giro localizado en su parte inferior (Figura 8).

Por otra parte, los deslizamientos son movimientos a lo largo de uno o más planos discretos que desplazan masas, pueden ser rotacionales o traslacionales en sus movimientos (Mora R.,2002), estos se caracterizan por desarrollar una o más superficies de ruptura, zona de desplazamiento y zona de acumulación (Vargas, 2000). En relación a las separaciones laterales estas consisten en un movimiento de extensión acompañado por fracturamiento cortante o tensional, que se desplaza en sentido lateral o casi horizontal en donde subyacen masas rocosas fracturadas y materiales de composición arcillosa; en referencia a los flujos, son movimientos relativos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie de falla bien definida, la cual sigue discontinuidad formada por un cambio litológico, una estructura geológica o una característica geotécnica (Figura 2.8).

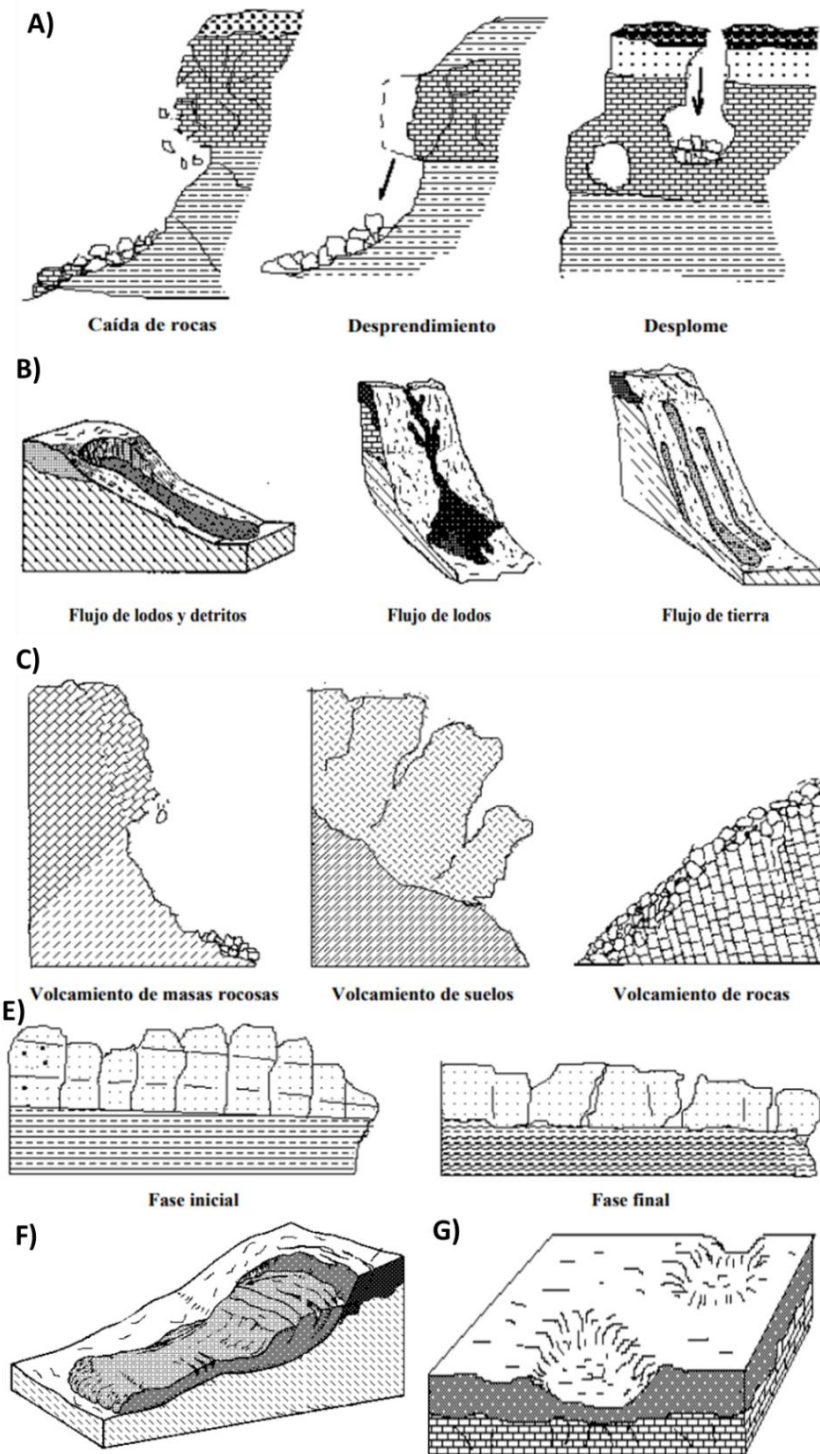


Figura 2.8 Criterios para la clasificación y descripción de movimientos de masa. A) Ejemplos de caídas, desprendimientos y desplomes de rocas o masas rocosas, B) Ejemplos de Flujos, C) Movimientos en masa por volcamiento, E) Movimiento en masa con propagación lateral por licuación de masa de roca fracturada sobre rocas arcillosas F) Deslizamiento rotacional, G) Hundimientos de terreno. Varnes (Cruden & Varnes, 1996).

## **2.3 Marco geofísico**

Los métodos de exploración geofísica son diversos, estos consisten en inferir la estructura geológica a través de la distribución de alguna propiedad física del subsuelo, dependiendo del método utilizado. Son diversas las propiedades de la Tierra, en ellas cabe mencionar la resistividad eléctrica del subsuelo, velocidad de propagación de ondas de sonido, densidad de masa y susceptibilidad magnética entre las más importantes (Geofísica Exploraciones, 2008).

El método más utilizado es el geofísico cuya rama es la que trata sobre el comportamiento de sedimentos en relación con la corriente eléctrica, los más comunes se basan en la inyección artificial de una corriente eléctrica los que son:

- Sondeos eléctricos verticales (SEV)
- Tomografías eléctricas de resistividad (TER)

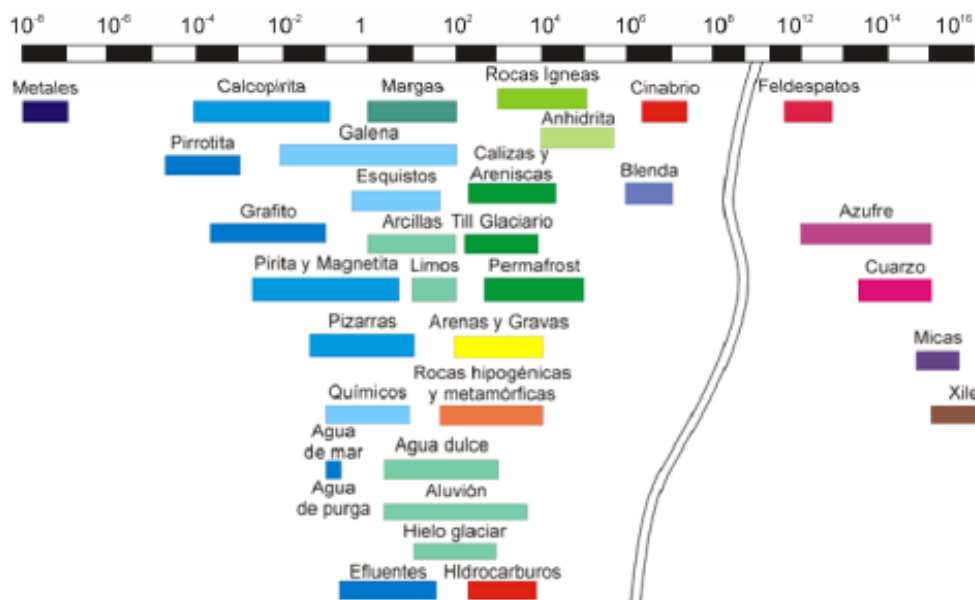
### **2.3.1 Sondeos eléctricos verticales (SEV) y Tomografía eléctrica de resistividad (TER)**

Los sondeos eléctricos verticales (SEVs), permiten obtener la distribución de las resistividades reales con la profundidad en un punto (1-D) mediante la inversión de curvas de resistividad aparente – distancia AB (Manilla, 2003).

La tomografía eléctrica de resistividad (TER) es un método de resistividad multielectrónica, basado en la modelización 2-D de la resistividad del terreno mediante el empleo de técnicas numéricas (elementos o diferencias finitas). Sin embargo, actualmente se está avanzando en la modelización 3-D (Serrano, 2003).

Esta herramienta tiene el objetivo de determinar la distribución de la resistividad del subsuelo haciendo mediciones desde la superficie del terreno. La resistividad eléctrica es una propiedad relacionada con la composición y arreglo de los constituyentes sólidos del suelo, el contenido de agua y la temperatura (Loke, Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2011) (Samouëlian, Cousin, Tabbagh, Bruand, & Richard, 2005). Este

método se considera como una forma de acceder al conocimiento de la variabilidad de las propiedades físicas del mismo, a continuación se presenta la resistividades típicas de ciertos materiales (Figura 2.9).



**Figura 2.9 Resistividades típicas de los materiales en [Ωm], Fuente: (Pérez, 2010)**

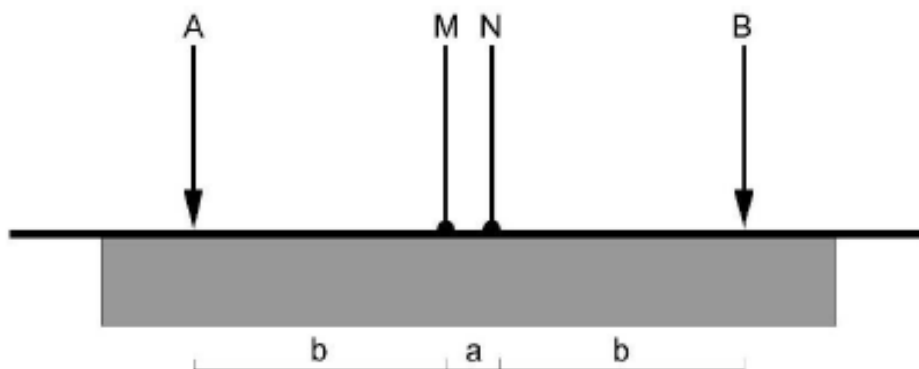
El proceso de adquisición de la TER es automatizado, por ende, esto permitirá realizar un gran número de medidas, tanto en profundidad como lateralmente, en un breve espacio de tiempo.

La inyección de corriente y la medición del potencial eléctrico resultante, se realiza a través de electrodos clavados en el suelo y la manera en que estos son acomodados recibe el nombre de configuración o arreglo eléctrico. En nuestro proyecto se implementó la configuración Schlumberger (Weinzettel, 2009).

El objetivo del método se basa en obtener una sección 2-D de resistividades reales del subsuelo, modelo a partir del cual podremos interpretar el tipo de material con la ayuda de datos in situ (mapas geológicos, perforaciones, registro de pozos, etc). Para ello será preciso el empleo de un programa de inversión, con el que transformamos las resistividades aparentes obtenidas de la campaña de campo, a valores de resistividad real (Serrano, 2003)

La configuración dependen de la disposición de los electrodos así se definen los arreglos, los arreglos más utilizados para los métodos geo-eléctricos son: wenner-schlumberger, dipolo-dipolo, polo-polo, polo-dipolo, wenner y schlumberger. Elegir el tipo de arreglo depende del objetivo de investigación, este puede depender de varios factores como el tipo de estructuras geológicas, profundidad de investigación deseada, sensibilidad del arreglo y la fuerza de la señal del mismo. En nuestro trabajo se utilizará la configuración de Schlumberger (Montiel A., 2015).

En el arreglo schlumberger los electrodos M y N permanecen fijos mientras que los de corriente A y B se mueven paulativamente incrementado la distancia AB, con esto se incrementa la profundidad de explotación, donde la distancia de los electrodos MN es menos a los AB. El arreglo debe cumplir la relación  $AB > 5MN$  (Figura 2.10).



**Figura 2.10 Disposiciones de electrodos en el arreglo Schlumberger. Fuente: (Mamani,2016)**

Para lugares en los cuales se requiere una cobertura horizontal se puede utilizar la técnica del roll-along. Esta técnica consiste en pasar del inicio al final del tendido para no perder información a profundidad. Pueden hacerse del 25%, 50% o 75% según el objetivo del estudio.

El equipo utilizado es el Terrameter ABEM LS es un avanzado sistema de adquisición de datos de potencial espontáneo (Self Potential SP), resistividad y polarización inducida en dominio del tiempo (PI). El instrumento cuenta con todo lo necesario para realizar levantamientos geoeléctricos de imágenes tomográficas (ABEM, 2012) (Figura 2.11, Figura 2.12)



**Figura 2.11** Equipo para TER Terrameter LS. Fuente: ABEM, 2012.

En la figura 2.12, se observa las partes que son embarcadas junto al Terrameter LS como equipo de levantamiento de la tomografía eléctrica de resistividad.



**Figura 2.12** Terrameter LS para levantamiento básicos de imágenes tomográficas de resistividad eléctrica. Fuente: (ABEM,2012).

### 2.3.2 Inversión tomográfica

La teoría de inversión está organizada en un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas, cuya finalidad es reproducir información de las propiedades físicas de un

sistema partiendo de los datos obtenidos en este sistema. Por ende, Los métodos de inversión generan un “modelo idealizado” de subsuelo que se sujete a los parámetros medidos y que este sujeto a ciertas restricciones (Abdeslem, Regalado Sosa, & Cerquone Ravelo, 2013).

La rutina de inversión del programa está basada en el método de mínimos cuadrados con restricción de suavizado. Una de las ventajas de este método es el factor de amortiguación (damping) y el filtro de achatamiento pueden ser ajustados a diferentes tipos de datos. El modelo 2D usado en este programa divide al subsuelo en número de bloques rectangulares y homogéneos. Luego se determina la resistividad de los bloques, producto de la pseudosecciones de resistividades medidas y las aparentes (Mamani, 2016).

El objetivo de la inversión de datos tomográficos eléctricos es encontrar un modelo de distribución de resistividades verdaderas del subsuelo con el menor error cometido, por ende, esta determina un modelo idealizado (Mamani, 2016).

Para la inversión tomográfica se utilizó el software RES2DINV que está diseñado para interpolar e interpretar datos de campo de prospección geofísica eléctrica (sondeo 2D) de resistividad eléctrica (conductividad) y polarización inducida. Existen varias técnicas de inversión, las más frecuente son: el método de mínimos cuadrados que involucra métodos de elementos finitos y de diferencias finitas. Las técnicas de inversión que se han implementado en este proyecto son dos, escogidas de acuerdo con la finalidad del proyecto: (Loke, Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys, 2012).

- Selección robusta de inversión (select robust inversión): ofrece excelentes resultados donde el terreno presenta ruidos aleatorios o “gaussiano”, donde se minimiza el cuadro de cambios en los valores de resistividad del modelo produciendo un modelo con variaciones suaves de resistividad. Adecuado para áreas donde existe la interfaz suelo-roca.



- Método de mínimos cuadrados restringido de suavidad (smoothness constrained least-squares method): esta opción combina el método de mínimos cuadrados amortiguados con el método restringido de suavidad, diseñada para situaciones donde los valores de sensibilidad de los datos de los bloques del modelo están significativamente distorsionados por variaciones de resistividad. Además, da mejores resultados en la resolución de estructuras compactas donde el ancho y el grosor son ligeramente pequeños en profundidad

## 2.4 Marco geomecánico

### 2.4.1 Descripción de macizos rocosos

Un macizo rocoso puede definirse en distintas áreas con aspectos diferentes, por ejemplo: zonas con litologías distintas, elementos estructurales, grado de fracturación, grado de meteorización, etc., lo que se recomienda una división inicial por zonas. Frecuentemente se utiliza la metodología implementada por Ferrer & González de Vallejo, 1999, la cual consiste en seis pasos:

- a) Identificación del afloramiento:** consiste en la localización, situación geográfica, accesos, extensión, características geométricas, etc. Debe indicarse si es un afloramiento natural o corresponde a una excavación y las condiciones en que se encuentra.
- b) Fotografías y esquemas:** consiste en fotografiar y dibujar los afloramientos observados en campo a lo largo de las salidas de campo.
- c) Descripción geológica general:** formación y edad geológica, litologías, estructuras observables a gran escala, rasgos estructurales generales: macizo estratificado, fallado, fracturado, masivo, etc., zonas alteradas y meteorizadas y espesor de estas y presencia de agua, surgencias, etc.
- d) División en zonas y descripción general de cada zona:** la zonificación se realizará en base a criterios litológicos y estructurales considerando los sectores

más o menos homogéneos del afloramiento, no siendo conveniente establecer demasiadas zonas, aunque el número y la extensión de estas dependerá del grado de heterogeneidad de los materiales y estructuras que formen el macizo, de la extensión del afloramiento y del grado de detalle y finalidad de la investigación.

- e) Identificación de zonas singulares:** se define a zonas singulares a elementos o estructuras no sistemáticas, que no se repiten en el macizo, y que tienen influencia en sus propiedades y comportamientos mecánico, por ejemplo, fallas, diques, pliegues, zonas de brecha, etc., estas se describen de manera individual indicando la problemática específica.

#### **2.4.2 Caracterización de la matriz rocosa**

Son tres los aspectos que deben describirse en campo: Identificación, Meteorización o alteración y resistencia a compresión simple.

##### **a) Identificación**

La identificación visu de roca se establece a partir de su composición y textura o relaciones geométricas de sus minerales, las observaciones prácticas se reducen en cinco: composición mineralógica, forma y tamaño de roca, color y transparencia y dureza.

##### **b) Meteorización o alteración**

El grado de meteorización de la roca condiciona de forma permanente las propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al mismo tiempo que disminuye su resistencia, esta puede categorizarse en seis niveles: sano, algo meteorizado, medio meteorizado, muy meteorizado, completamente meteorizado y suelo residual.

##### **c) Resistencia a compresión simple**

El ensayo de compresión simple permite obtener un valor de carga última del suelo, esta puede ser estimada en el afloramiento por medio de ensayo de carga puntual PLT o el martillo de Schmidt, el primer ensayo obtiene el índice de juntas, mientras el martillo de

Schmidt o esclerómetro mide la resistencia de rebote de una superficie rocosa, las dos son correlacionable con la resistencia a compresión simple.

### 2.4.3 Descripción de las discontinuidades

Las discontinuidades son planos de fractura que condicionan el comportamiento de los macizos rocosos (resistencia, deformación, y el equilibrio y movimiento de fluidos) y la medida de estas propiedades se realiza en campo (González de Vallejo et al, 2002) (Figura 2.13):

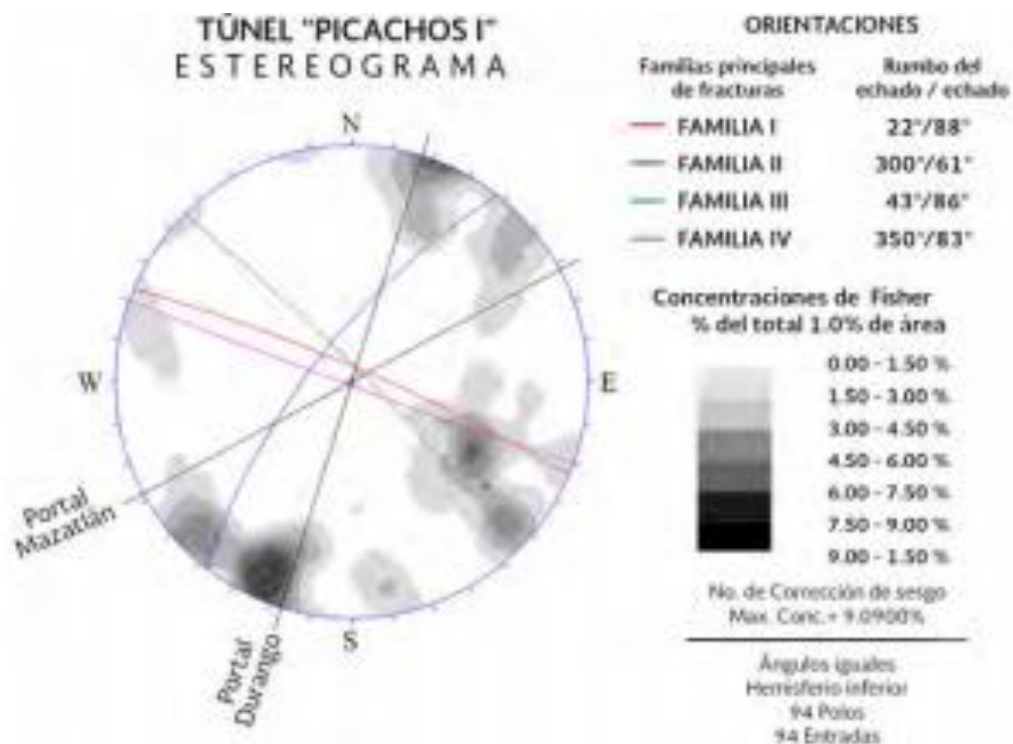
- **Orientación de una discontinuidad:** se define por la dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) variando en valores entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$  y su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea) mediante el clinómetro con valores variables de entre  $0^\circ$ - $90^\circ$ .
- **Espaciado:** es definido como la distancia entre dos planos de discontinuidades de una misma familia, medida en dirección perpendicular a dichos planos.
- **Continuidad o persistencia:** en un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento, las familias más continuas condicionan los planos de rotura del macizo rocoso.
- **Rugosidad:** se emplea para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos. Esta emplea dos escalas de observación: 1) escala decimétrica y métrica para la ondulación de superficies planas, onduladas o escalonadas y 2) escala milimétrica y centimétrica para rugosidad o irregularidad en superficies pulidas, lisas o rugosas.

- **Resistencia de las paredes:** depende del tipo de matriz rocosa, la existencia o no de relleno y el grado de meteorización, esto influye en la resistencia al corte y en su deformabilidad, obtenida por medio de los índices de campo.
- **Abertura:** es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno.
- **Relleno:** influye en el comportamiento este puede ser de materiales blandos arcillosos, material producto de la meteorización de la roca o material rocoso de naturaleza distinta a las de las paredes.
- **Filtraciones:** se define como el flujo de agua circulante por medio de las discontinuidades (permeabilidad secundaria) y a través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria).



Figura 2.13 Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades a partir de González de Vallejo et al. (2002).

Una vez efectuado el levantamiento geológico estructural y definidas las características y propiedades de cada una de las discontinuidades del macizo rocoso, se realiza la representación gráfica de las diferentes familias de discontinuidades mediante una proyección estereográfica, en la que se representa polo o planos con valores medidos de las diferentes familias. (Figura 2.14)



**Figura 2.14 Diagrama estereográfico, representación de planos estructurales de cuatro familias, la densidad de los polos se muestra en la concentración de Fisher en porcentaje del área total en escala de grises. Fuente: (Secretaria de Comunicaciones y Transporte, 2010).**

Es aconsejable medir varias orientaciones de discontinuidades para definir adecuadamente cada familia. El número de medidas dependerá de la extensión de la zona de estudio, de la aleatoriedad de las orientaciones de los planos y del detalle del análisis (González de Vallejo et al., 2002).

# CAPÍTULO 3

## 3. METODOLOGÍA

La metodología para la caracterización de susceptibilidad de movimientos en masa consiste en dos partes: 1) trabajo de campo: levantamiento detallado de los datos tomados de campo (geológico, geofísico y geomecánico) y 2) trabajo de gabinete: procesamiento, descripción, análisis e interpretación de los datos de campo mediante las metodologías propuestas por: (Compton, 1970) con respecto a los datos geológicos; (ABEM, 2012), (Abdeslem, Regalado Sosa, & Cerquone Ravelo, 2013) (Loke, Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys, 2012) y (Mamani, 2016) con respecto a datos geofísicos; (González de Vallejo et al, 2002); (Van Zuidam, 1986) y (Pedraza-Gilsanz, 1996); (Valdiviezo Ajila, 2014); (Sen & Sagah, 2003) y (Tomas et al, 2007) con respecto a datos geomecánico, que serán unificados con el método de sobreposición del mapa de susceptibilidad de rocas. A continuación, se describe la metodología seguida:

### 3.1 Trabajo de campo

#### 3.1.1 Geología

El levantamiento geológico se basó en el reconocimiento de las unidades litológicas aflorantes, levantamiento de columnas estratigráficas y toma de datos estructurales en el área de estudio, siguiendo las directrices de la guía geológica de campo de (Compton, 1970).

Para el levantamiento de campo se implementó el método de afloramientos, el cual consiste en localizar a escala cada afloramiento, dibujando su contacto con el material superficial que lo rodea, los afloramientos pequeños tienen que hacerse de modo general, las líneas de contacto deben dibujarse como líneas llenas dentro de las áreas aflorantes y como líneas punteadas a través de las áreas cubiertas. Estos pueden diferenciarse por medio de colores, símbolos y líneas diferenciadas (Greenly & Howel, 1930).

Se generaron perfiles guías paralelos separados cada 100 m, superpuestos en la ortofoto 2018 facilitada por el GAD de Durán, se realizó el recorrido lo más próximo posible a las guías trazadas en los cuales se levantaron tres tipos de datos: estaciones principales (engloba columnas estratigráficas, medidas estructurales e identificación de litologías), medidas de control y puntos de control. Estos datos fueron ubicados con ayuda del navegador GPS YUMA 2 de marca Trimble.

### 3.1.2 Geofísica

En este proyecto, se implementa el método de prospección eléctrica mediante la aplicación de tomografías de resistividad eléctrica (TER), con el fin de correlacionar datos anteriormente obtenidos en campo e inferir la calidad de roca y de la existencia de estructuras geológicas.

Se levantó cinco tomografías eléctricas (TER), cuatro TER de 160 m y una línea de 80 m de longitud, con la misma disposición espacial que las líneas (Tabla 2.2).

**Tabla 3.2 Adquisición de datos con el método geofísico eléctrico de tomografías eléctricas dentro del área de estudio, en la celda de coordenadas geográficas se indican las coordenadas iniciales (o), medias (m) y finales (f) de la línea tomográfica.**

No.	Fecha	Línea	Longitud	Espaciado	Coordenadas geográficas	Método
1	17/09/2018	RES1_NS	160 m	2 m	(6277730,9759627) <sub>o</sub> (627703,9759554) <sub>m</sub> (627647,97594999) <sub>f</sub>	Roll-along
2	18/09/2018	RES2_NS	160 m	4 m	(62784,97594427) <sub>o</sub> (627884,9759367) <sub>m</sub> (627892,9759298) <sub>f</sub>	Schlumberger
3	18/09/2018	RES3_NS	160 m	4 m	(627874,9759798) <sub>o</sub> (627824,9759737) <sub>m</sub> (627792,9759663) <sub>f</sub>	Schlumberger
4	19/09/2018	RES4_NS	160 m	4 m	(628045,9759895) <sub>o</sub> (627975,9759865) <sub>m</sub> (627905,9759821) <sub>f</sub>	Schlumberger
5	19/09/2018	RES5_EO	80 m	2 m	(628470,9759711) <sub>o</sub> (628509,9759697) <sub>m</sub> (628542,9759674) <sub>f</sub>	Schlumberger

La toma de datos se efectuó con el equipo resistivimétero Terrameter LS (marca ABEM) (Figura 2.11), el cual controla la inyección de corriente y la medida del cambio del potencial. El arreglo seleccionado fue el Schlumberger, este es un arreglo moderadamente sensible a variaciones verticales como horizontales, el equipo está compuesto de (ABEM, 2012):

- 81 electrodos
- 82 jumpers
- 4 rollos de cables (4C) compuesto por 8 rollos de cables
- 2 conectores rojos para el paso de corriente
- 1 batería de 12 V

Las TER, fueron distribuidas de la siguiente manera: cuatro en el cerro “Las Cabras” y una línea en el cerro “Los Almendros” (Figura 3.15)



**Figura 3.15** Distribución de levantamiento de tomografías eléctricas (línea roja) realizadas en el área de estudio, cuatro de ellas corresponde a el cerro “Las Cabras” A)-B)-C) y D), una de ellas corresponde al cerro “Los Almendros” E). La sombra verde representa el área de estudio.



Se colocó los electrodos de acuerdo con el espaciado dispuesto de la longitud de la tomografía eléctrica (Figura 3.16, literal a)), se colocó los cables cuidadosamente con la finalidad de no superponer ningún cable y no exista algún error en la lectura de datos (Figura 3.16, literal b)), con el equipo instalado y la revisión de cada una de las partes que lo constituyen se procedió a la programación del Terrameter L.S. para la obtener las pseudosecciones de resistividades del subsuelo (Figura 3.16, literal b)).



**Figura 3.16 Levantamiento de tomografías eléctricas, literal a) Instalación de electrodos para la toma de datos, literal b) arreglo de los cables para la toma de datos, literal c) configuración del equipo para la toma de las Tomografías Eléctricas**

### **3.1.3 Geomecánica**

En este apartado se realiza la descripción de los macizos rocosos, caracterización de macizos rocosos y descripción de discontinuidades para ello se trabajará con la metodología propuesta por (González de Vallejo et al, 2002) la cual es resumida en una ficha para la toma de datos geomecánicas en campo (Figura 3.17, Figura 3.18).

La ficha de campo consiste en dos carillas: la primera carilla posee la información respectiva de la descripción y caracterización del macizo rocoso (Figura 3.17), la segunda corresponde a la descripción de las discontinuidades presentes en el afloramiento (Figura 3.18).

#### **Descripción y Caracterización del macizo rocoso**

1. Identificación del afloramiento. (Localización, situación geográfica, geometría, etc)
2. Fotografías y esquemas.
3. Descripción geológica general. (Litología, naturaleza, meteorización, potencia y depósitos superficiales).
4. Zonificación del afloramiento mediante criterios litológicos, estructurales o por el grado de meteorización generado así una homogenización de los datos.
5. Identificación de zonas con presencia de elementos estructurales no repetibles que influyen en sus características geomecánicas.
6. Caracterización del macizo rocoso

#### **Descripción de discontinuidades del macizo rocoso**

Los elementos estructurales son caracterizados mediante su orientación, espaciado, continuidad, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones y resistencia a la compresión simple estimada mediante el rebote del martillo de Schmidt (Figura 3.18).

Identificación del afloramiento	PROYECTO:	ESTACIÓN :		N° HOJA :	LOCALIZACIÓN :		Provincia		
	REALIZADO POR:	HOJA/PLANO :		CÓDIGO :			Cantón		
	FECHA:	FOTOS :				Localidad			
				COORDENADAS		X :			
						Y :			
						Z :			
LITOLOGÍA		NATURALEZA	POTENCIA >10 m	DEPÓSITOS SUPERFICIALES		MORFOLOGÍA	ESPESOR		
ESTRUCTURAS		PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS		OTROS			
FRACTURACIÓN		BLOQUES Jv Junta s /m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60	
GRADO DE METEORIZACIÓN		SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI	
HIDROGEOLOGÍA		SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO	
Caracterización de la matriz rocosa	OBSERVACIONES				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO				
	FOTO				CROQUIS				
Fotografías y esquemas									
Descripción de macizos rocosos				Caracterización de la matriz rocosa				División en zonas y descripción general de cada zona / Identificación de zonas singulares	

Figura 3.17 Primera carilla de la ficha de datos geomecánicas. (González de Vallejo et al, 2002) modificado por (Valdiviezo Ajila, 2014).

Descripción de discontinuidades

TIPO DE PLANO	ESTACIÓN	ESPACIADO (cm)	CONTINUIDAD (m)	APERTURA (mm)	R. Apr	RUGOSIDAD		RELLENOS			
	DIR. DE BUZAMIENTO	Ext. Juntas Muy juntas Juntas	Muy baja Baja Moderada Alta Muy Alta	Muy cerrada Cerrada Parc. Abierta Abierta Moder. Abierta Ancha Muy ancha Ext. Ancha Cavernosa	Composición Espesor	Escalonada	Ondulada	Meteorización	Filtraciones	Resist. Martillo	GeoSmith
BUZAMIENTO	< 2 2 - 6 6 - 20 20 - 60 60 - 200 200 - 600 > 600	< 1 1 - 3 3 - 10 10 - 20 > 20	< 0.1 1.1 - 0.25 2.5 - 0.5 0.5 - 2.5 2.5 - 10 > 10	10 - 100 100 - 1000 > 1000	I Rugosa II Lisa III Slickensided IV Rugosa V Lisa VI Slickensided VII Rugosa VIII Lisa IX Slickensided	I Sana II Algo meteorizada III Med. Meteorizada IV Muy meteorizada V Complet. Meteo VI Suelo residual	Húmedo Goteos Flujo	1 Muy blando 2 Blando 3 Consistente 4 Muy consistente 5 Duro 6 Muy duro	Indice R	Dirección	
<b>TIPO DE PLANO</b>	So - Estratificación	J1...Jn - Juntas	<b>RELLENO</b>	S - Arena	B - Brecha	Q - Cuarzo	O - Óxidos				
	S1 - Esquistosidad	F1...Fn - Fallas	G - Gravas	A - Arcillas	M - Milonita	C - Calcita	F - Feldespatos				

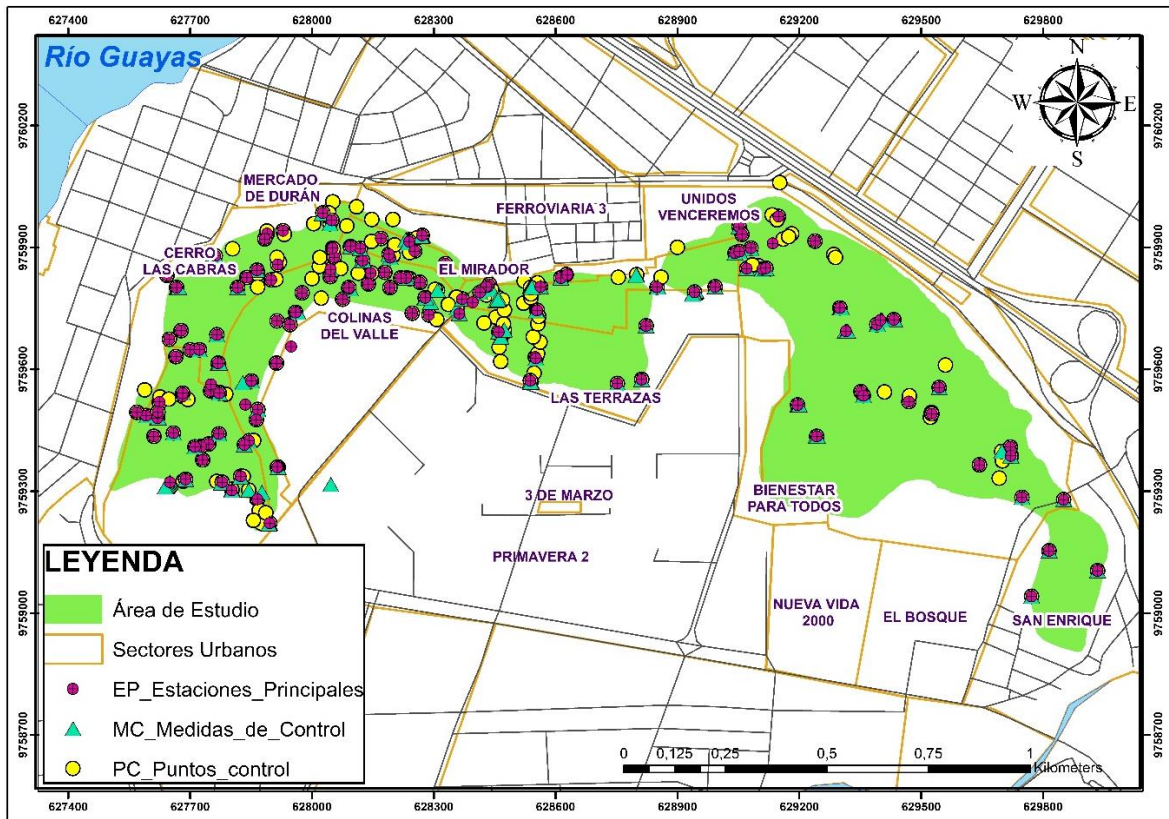
Figura 3.18 Segunda carilla ficha de datos geomecánicas. (González de Vallejo et al, 2002) modificado por (Valdiviezo Ajila, 2014)

Las descripciones pertenecientes a los parámetros de espaciado, continuidad, abertura corresponde a medición directa de campo que son clasificadas de manera estándar por el International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981). La rugosidad es definida de acuerdo con los perfiles estándar de rugosidad por el International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981). La resistencia será medida de acuerdo con el martillo de Schmidt con un promedio de 10 rebotes por cada tipo de estructura y por la consistencia del macizo al golpe con el martillo del geólogo. El parámetro de filtración será clasificado de acuerdo con el flujo de agua en cuatro seco, húmedo, goteos o flujos (Figura 3.18)

## **3.2 Trabajo de gabinete**

### **3.2.1 Geología**

Los datos levantados en campo se distribuyeron en tres tipos de datos: 144 estaciones principales (EP) que incluye la toma de datos estructurales y columnas estratigráficas, 313 puntos de control (PC) litología aflorante y 201 medidas de control (MC) estructuras presentes en el área (Figura 3.19). Con la información de campo se generó una base de datos que incluye, tipo, coordenadas geográficas (x, y, z), litología, medida estructural, tipo estructura, y columna estratigráfica, estas fueron digitalizadas en el software de Sedlog 3.1 (Anexo 9.1).



**Figura 3.19 Distribución de los tres tipos de datos levantados en campo: 144 estaciones principales (EP), 313 puntos de control (PC) y 201 medidas de control (MC).**

La delimitación de unidades litológicas se realizará por medio columnas estratigráficas representativas que serán construidas por el método de correlación litoestratigráfico (Anexo 9.2), este método se basa en el estudio de los cambios litológicos bruscos y en la presencia de algunos niveles de litologías especiales detectables a simple vista de las columnas estratigráficas levantadas en campo (Prieto, 2003). Para la implementación de este método se trazarán un perfil de correlación para cada uno de los cerros, tratando de tomar la mayor cantidad de columnas de campo y estas se correlacionarán de acuerdo con su cota de ubicación.

Consecuentemente, se procederá a realizar la construcción del mapa litoestratigráfico y el corte geológico implementando software de información geográfica. La construcción del mapa litoestratigráfico conlleva la representación de los materiales geológicos de la superficie del suelo sobre el mapa topográfico de una determinada área (Delgado, Padilla, & Barrientos, 2010). Este trabajo inició con la construcción del mapa topográfico,

para ello se utilizó información topográfica disponible del GAD municipal del cantón Durán. La información fue cargada, digitalizada, procesada y analizada en el software de información geográfica.

Manipulando las columnas estratigráficas, medidas de control y puntos de control existentes se realizó el reconocimiento y medida de orientación de planos estructurales entre contacto litológicos y partiendo de las curvas de nivel topográficas y curvas de nivel estructurales o isohipsas de diferentes litologías se pudo realizar la determinación de los patrones de afloramiento culminando con la construcción del mapa litoestratigráfico.

Para la construcción de los cortes geológicos se utilizó la información topográfica del área de estudio, con el fin de obtener el perfil topográfico y posteriormente utilizar la técnica de extrapolación de dirección de capas (isohipsas), que consiste en trasladar los puntos de contacto entre unidades litológicas que posean la misma cota y demás características geológicas (discordancia, fallas, etc).

### **3.2.2 Geofísica**

El procesamiento de los datos fue realizado por etapas:

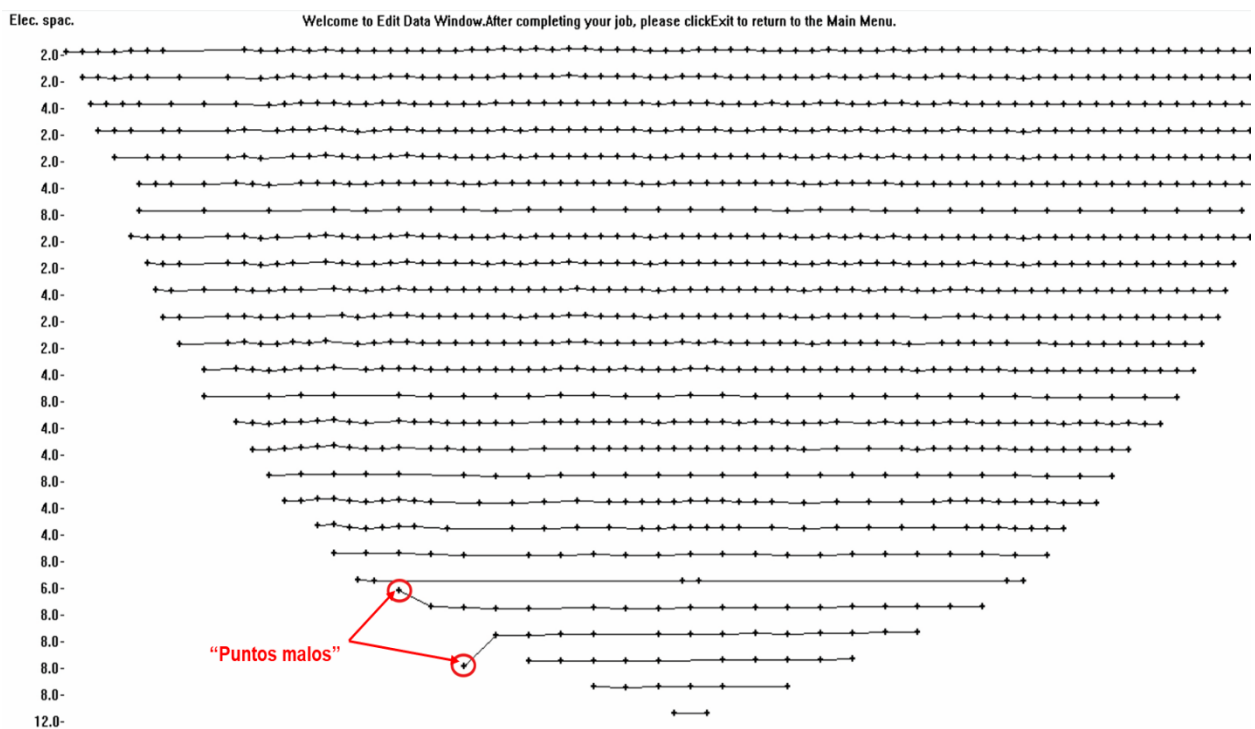
1. Exportación de los datos levantados en campo por medio del software Terrameter LS Toolbox en formato .dat.
2. Visualización, verificación y corrección de datos levantados en campo, para ello se implementó el software RES2DINV, con autorización de la Secretaria de Gestión de Riesgo (SGR) que cuenta con la licencia para su uso.
3. Inversión de los datos de resistividad aparente con técnicas de modelado diferentes con el uso del software RES2DINV.

La primera etapa consistió en la descarga de los datos levantados en campo, con la colocación de su respectivo código.

La segunda etapa inicio con la visualización de los datos, para esto se carga el archivo “.dat” en el programa donde este realizó la respectiva lectura de los datos, seguido de la

verificación de puntos en donde se identificó la presencia de datos erróneos o “puntos malos”, que son picos altos en consideración de los puntos adyacentes; por ende, para cada uno de los archivos se procedió a realizar la corrección de “puntos malos” que tienen valores inusualmente altos o bajos respecto a los puntos vecinos.

La eliminación de estos datos erróneos se realiza de forma manual por medio de la ventana de edición en donde se visualiza los puntos tomados en campo (Figura 3.20). A partir del criterio del interpretador se pueden marcar los puntos malos que se desea eliminar y se guarda el archivo como una nueva copia con los datos corregidos. La corrección de “puntos malos” se realizó únicamente en la línea RES\_1 NS, debido a que era la única que presentaba valores de resistividad negativos en el programa.



**Figura 3.20 Corrección de puntos malos en la línea RES\_1 NS.**

En esta segunda etapa, se incluyó la corrección topográfica que consiste en modificar el archivo “.dat” de cada línea, con el fin de ajustar la topografía a los modelos de inversión, para ello se utilizó las coordenadas geográficas de cada electrodo adquiridas en el equipo GPS Yuma 2 que posee un margen de error de 1 metro. En la configuración del



archivo “.dat”, se realiza por separado los datos de elevación y los datos de latitud y longitud (Figura 3.21, literal a) y b)).

<p><b>a)</b></p> <p>Topography in separate list 2 81</p> <p>0.0000000000 69.5000000000 2.0000000000 68.6000000000 4.0000000000 67.2000000000 6.0000000000 66.1000000000 8.0000000000 65.9000000000 10.0000000000 65.6000000000 12.0000000000 65.4000000000 14.0000000000 66.4000000000 16.0000000000 67.0000000000 18.0000000000 67.5000000000 20.0000000000 68.8000000000 22.0000000000 68.2000000000 24.0000000000 67.5000000000 26.0000000000 67.1000000000 28.0000000000 67.9000000000</p>	<p><b>b)</b></p> <p>1 Global coordinates present Number of coordinate points 81</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Local</th> <th>Longitude</th> <th>Latitude</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0000000000</td><td>627730.8960000000</td><td></td><td>9759627.9140000000</td></tr> <tr><td>2.0000000000</td><td>627729.8432700000</td><td></td><td>9759623.7164800000</td></tr> <tr><td>4.0000000000</td><td>627729.3776020000</td><td></td><td>9759621.7717900000</td></tr> <tr><td>6.0000000000</td><td>627728.8082110000</td><td></td><td>9759619.9195400000</td></tr> <tr><td>8.0000000000</td><td>627728.0095940000</td><td></td><td>9759617.8748900000</td></tr> <tr><td>10.0000000000</td><td>627727.6658040000</td><td></td><td>9759615.7575600000</td></tr> <tr><td>12.0000000000</td><td>627727.2094210000</td><td></td><td>9759613.7850000000</td></tr> <tr><td>14.0000000000</td><td>627726.6888630000</td><td></td><td>9759611.7585800000</td></tr> <tr><td>16.0000000000</td><td>627730.4147710000</td><td></td><td>9759625.8252100000</td></tr> <tr><td>18.0000000000</td><td>627726.5077630000</td><td></td><td>9759609.8700900000</td></tr> <tr><td>20.0000000000</td><td>627725.8684920000</td><td></td><td>9759608.0176500000</td></tr> <tr><td>22.0000000000</td><td>627725.6149440000</td><td></td><td>9759605.9232900000</td></tr> <tr><td>24.0000000000</td><td>627725.7931920000</td><td></td><td>9759603.9652000000</td></tr> </tbody> </table>	Local	Longitude	Latitude		0.0000000000	627730.8960000000		9759627.9140000000	2.0000000000	627729.8432700000		9759623.7164800000	4.0000000000	627729.3776020000		9759621.7717900000	6.0000000000	627728.8082110000		9759619.9195400000	8.0000000000	627728.0095940000		9759617.8748900000	10.0000000000	627727.6658040000		9759615.7575600000	12.0000000000	627727.2094210000		9759613.7850000000	14.0000000000	627726.6888630000		9759611.7585800000	16.0000000000	627730.4147710000		9759625.8252100000	18.0000000000	627726.5077630000		9759609.8700900000	20.0000000000	627725.8684920000		9759608.0176500000	22.0000000000	627725.6149440000		9759605.9232900000	24.0000000000	627725.7931920000		9759603.9652000000
Local	Longitude	Latitude																																																							
0.0000000000	627730.8960000000		9759627.9140000000																																																						
2.0000000000	627729.8432700000		9759623.7164800000																																																						
4.0000000000	627729.3776020000		9759621.7717900000																																																						
6.0000000000	627728.8082110000		9759619.9195400000																																																						
8.0000000000	627728.0095940000		9759617.8748900000																																																						
10.0000000000	627727.6658040000		9759615.7575600000																																																						
12.0000000000	627727.2094210000		9759613.7850000000																																																						
14.0000000000	627726.6888630000		9759611.7585800000																																																						
16.0000000000	627730.4147710000		9759625.8252100000																																																						
18.0000000000	627726.5077630000		9759609.8700900000																																																						
20.0000000000	627725.8684920000		9759608.0176500000																																																						
22.0000000000	627725.6149440000		9759605.9232900000																																																						
24.0000000000	627725.7931920000		9759603.9652000000																																																						

**Figura 3.21 Código de configuración de elevación, altitud y longitud del archivo .dat para colocar la corrección topográfica.**

La visualización del archivo que incluía la topografía adquirida del navegador Yuma 2, mostró picos que no asemejaban la topografía real del terreno (Figura 3.22 literal a)). Por ende, se realizó un modelo digital del terreno (DEM) con curvas de separación métrica recopiladas del GAD de Durán, con el fin de extraer las coordenadas geográficas (x,y,z) de la ubicación los electrodos en cada uno de los perfiles para suavizar la topografía actual. Para ello se generó un nuevo archivo “.dat” con la configuración de la corrección topográfica con los puntos obtenidos en el DEM, se realizó la visualización de esta y se obtuvo una topografía suavizada y coherente con la topografía real del terreno (Figura 22, literal b)). Por esta razón, el procesamiento de la inversión se realizó con los archivos que contienen la corrección topográfica con los datos del DEM. Este procedimiento se llevó a cabo para cada una de las líneas levantadas en campo.



**Figura 3.22 Visualización de coordenadas geográficas (x, y, z) del archivo .dat en el software RES2DINV, literal a) muestra codificación del archivo con los datos de equipo navegador GPS Yuma 2, marca Trimble, en este se distinguen altos topográficos y con topografía no cercana a la realidad, y en el literal b) Topografía con la extracción de puntos en el DEM de la ubicación de los electrodos.**

Previamente a la tercera etapa, se realizó la definición del parámetro de cálculo necesario en el proceso de inversión que define el número de iteraciones.

La tercera etapa consiste en el procesamiento de las TER, para ello se utilizó las metodologías de inversión disponibles en el software RES2DINV el cual genera un modelo hipotético de resistividades verdaderas del subsuelo (inversión), compara las resistividades y calcula el error cometido, que se va ajustando de acuerdo con una serie de iteraciones consiguiendo un modelo de resistividades coherentes con la geología del sector (Mamani, 2016).

Para la generación de modelos geoelectricos de cada una de las tomografías eléctricas se realizó la conversión de archivos de formato .inv a .rho utilizando el software de Erigraph, con la finalidad obtener una mejor visualización bidimensional de resistividad aparente del subsuelo. Seguidamente, se correlacionará datos directos (perforaciones y calicatas) e indirectos (sondeos eléctricos verticales) proporcionados por el GAD

municipal del cantón Durán en conjunto con CIPAT-ESPOL en el 2014, para realizar un análisis de resistividad vs profundidad (Anexo 9.), y obtener rangos de resistividades óptimos que permitan interpretar las capas litológicas en profundidad e identificar la presencia de estructuras geológicas, para validar el mapa litoestratigráfico.

### 3.2.3 Geomecánica

En este apartado se analizaron datos de campo diferenciando entre variables primarias y secundarias. Las variables primarias serán los parámetros obtenidos en las fichas geomecánicas (buzamiento y orientación de las discontinuidades, método de excavación de talud, etc) que se digitarán directamente. Mientras, las variables secundarias serán las obtenidas a partir del modelo digital de terreno DEM (Orientación de laderas y Pendientes) (Figura 3.23, Figura 3.24).

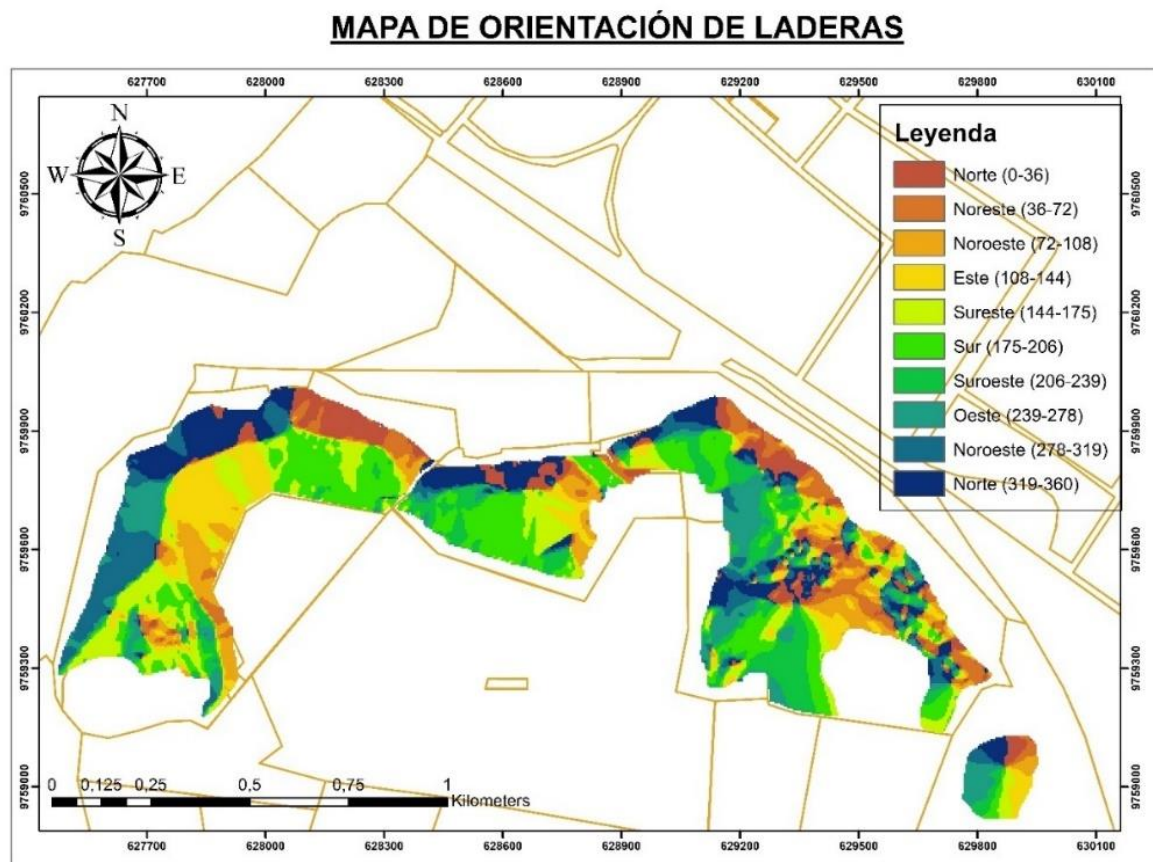
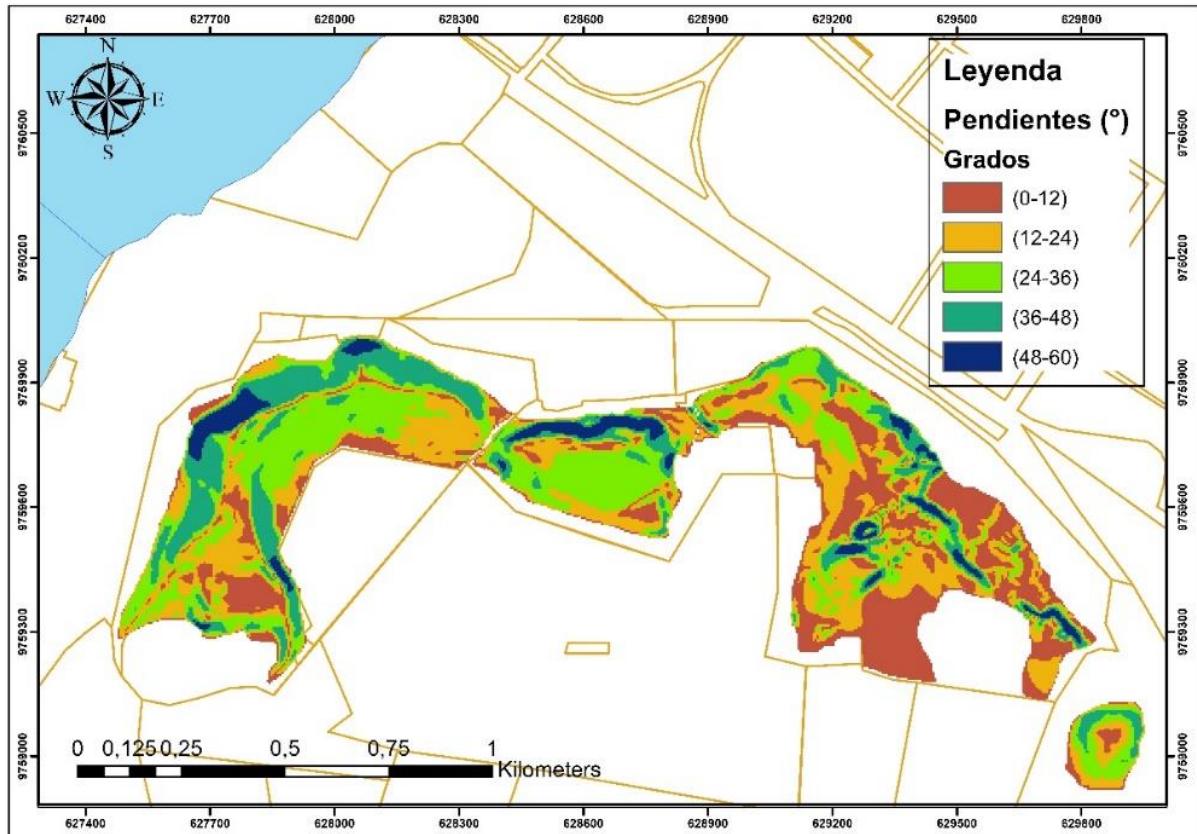


Figura 3.23 Mapa de Aspectos de la zona de estudio.

### **MAPA DE PENDIENTES**



**Figura 3.24 Mapa de pendientes de la zona de estudio.**

El área de talud será obtenida de acuerdo con la correlación de cuatro parámetros: 1) litoestratigrafía, 2) geofísica, 3) geomorfología y el 4) RMR básico de sistema continuo que permitirán zonificar geomecánicamente la roca de los cerros para ajustar el cálculo del índice de SMR-C. El primer y el segundo parámetro fueron resultados obtenidos en apartados geológicos y geofísicos.

El tercer parámetro geomorfológico de la zona de estudio se realizará en base a las curvas de nivel con separación métrica recopiladas de proyectos anteriores. Se elabora un modelo digital del terreno obtenido a partir de las curvas de nivel. En base a estas se elaboró tres mapas: el mapa hipsométrico se clasificó heurísticamente para resaltar las diferencias de altitud que identifica los principales rasgos del relieve (cada 20 metros), el mapa de pendientes utilizando la reclasificación de las pendientes en cinco categorías de acuerdo con el natural break y el mapa geomorfográfico usando la metodología de

(Van Zuidam, 1986) y (Pedraza-Gilsanz, 1996) en él se pueden identificar las formas del relieve con base en los declives del terreno. Con los tres mapas se realizó la supersosición y se realizó la identificación de geformas que fueron clasificadas según su origen denudacional.

El cuarto parámetro RMR básico de sistema continuo definido por Sen & Sadagah, 2003, demuestra la simplificación de los factores de 6 a 5 utilizando funciones continuas, para este parámetro se analiza los datos levantados en las fichas geomecánicas. (Figura 3.18)

El RMR básico se enfoca en cinco parámetros de acuerdo con la clasificación de (Sen & Sadagah, 2003):

1. Resistencia de compresión uniaxial de la roca intacta ( $r\sigma$ )
2. Denominación de la calidad de la roca, "RQD" ( $r$  RQD)
3. Espaciado entre las discontinuidades ( $r\dot{x}$ )
4. Espaciado entre discontinuidades ( $rJ$ )
5. Estado de las aguas subterráneas ( $rG$ )

1. La resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca ( $\sigma_c$ ) se utilizó el martillo de Schmidt tipo L en cada unidad litológica delimitada del área de estudio. Para ello se recogió muestras de mano de cada tipo de macizo rocosa del cual se pesará su masa y se medirá su volumen, con la finalidad de obtener el valor del peso específico de cada roca (Tabla 3.5).

El valor de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca ( $\sigma$ ) será calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma = 10^{0.00088\gamma\dot{R}} + 1.01 \quad (3.1)$$

En donde:

$\sigma$  = resistencia a la compresión simple

$\gamma$  = peso específico de la roca

$\dot{R}$  = valor medio del índice R del martillo Schmidt

2. El cálculo del RQD, se utilizó la metodología de Priest y Hudson en 1981, la cual nos permite estimar el valor del RQD a partir de la frecuencia del espaciado de discontinuidades ( $\lambda$ ) utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{RQD}=100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda+1) \quad (3.2)$$

Donde  $\lambda = 1/\bar{x}$  (3.3) y  $\bar{x}$  (3.4) es el promedio del espaciado de discontinuidades en metros.

3. El espaciado entre discontinuidades ( $r_x$ ) es una medida de la separación métrica entre las juntas de cada familia de diaclasas de la roca, para su obtención se utilizó un flexómetro.
4. Las condiciones hidrogeológicas ( $r_J$ ) engloba el estado en que se encuentran las juntas, para ello se describió apertura, relleno, rugosidad y alteración de las mismas.

Las ponderación de cada característica de discontinuidad ( $r_J$ ) se suma de acuerdo a su rating, obteniendo un valor final del parámetro. (Figura 3.25).

Parámetros		Rango de valores				
4	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
	Rating	6	4	2	1	0
	Separación	Ninguna	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm
	Rating	6	5	4	1	0
	Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided
	Rating	6	5	3	1	0
	Relleno	Relleno Duro			Relleno Suave	
		Ninguno	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm
	Rating	6	4	2	2	0
	Meteorización	Sana	Algo meteorizada	Med. Meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada
Rating	6	5	3	1	0	

Figura 3.25 Sistema de clasificación de macizo rocosos (RMR), numeral 4. Fuente: (Bieniawski Z., 1989)

5. El estado de las aguas subterráneas ( $rG$ ) contempla la presencia o flujo de agua en las juntas del macizo rocoso, para su obtención se describe su grado de humedad. Calculadas para un valor  $r_u$  (relación entre la presión de poros y el estrés vertical considerando la profundidad) de 0.2 para los taludes húmedos, los cuales son valores estimados por Bieniawski en su clasificación del 1989.

Los cinco parámetros descritos conforman el : Rock Mass Rating continuo (RMR-C):

$$RMR-C = RMRb-rC = rG + rJ + rX + rRQD + r\sigma \quad (3.9)$$

Donde:

$$rG = -10 \log r_u - 1.5 \quad (3.5)$$

$$rX = 24 + 15.1 \log \dot{\chi} \quad (3.6)$$

$$rRQD = 0.2 RQD \quad (3.7)$$

$$r\sigma = 0.075 \sigma_c \quad (3.8)$$

Obtenido los resultados del tercer y cuarto parámetro, se procedió a realizar la correlación de parámetros usando la superposición de datos. Con el objetivo de

identifican zonas de diferente calidad geomecánica, obteniendo las unidades geomecánicas (área del talud).

Con las unidades geomecánicas obtenidas (área del talud) se procederá a realizar el cálculo del índice geomecánico Slope Mass Rating Continue (SMR-C) implementando la metodología propuesta por (Tomás et al., en 2007) para taludes en roca. El SMR-C se define como el SMR definido por (Romana, 1985) con funciones continuas, por ende, se implementa el RMR básico de sistema continuo definido por (Sen & Sadagah en 2003) adicionando una serie de factores (F1, F2, F3 y F4) que permiten ajustar la relación geométrica existente entre las discontinuidades y el talud de forma continua.

Para ello se utilizó la siguiente expresión:

$$\mathbf{SMR-C = RMR \text{ básico de sistema continuo} + (F1 * F2 * F3) + F4} \quad (3.14)$$

- RMR básico de sistema continuo, se calcula de acuerdo con Sen & Sadagah en 2003, la cual considera 5 parámetros, tomados en campo por medio de las fichas geomecánicas (parámetro cuatro).
- F1: depende del paralelismo entre las direcciones de discontinuidades y del talud. Se encuentra en un rango de 1.00 a 0.15, valor que se ajusta a la relación, donde A es el ángulo entre la dirección de la pendiente ( $\alpha_s$ ) y la dirección de la discontinuidad ( $\alpha_j$ ).

$$F1 = 0.64 - 0.006 \arctan((|A| - 17)/10) \quad (3.10)$$

- F2: se refiere al buzamiento de las discontinuidades ( $\beta_j$ ). en modo de falla planar. Su valor se encuentra en el rango de 1.00 a 0.15, y se ajusta a la relación  $F2 = Tg^2 \beta_j$  donde  $\beta_j$  denota el valor de buzamiento de la discontinuidad. Para fallas de tipo volcamiento F2 tiene el valor de 1.00.

$$F2 = 0.5625 + (\arctan(0.17\beta_j - 5))/195 \quad (3.11)$$



- F3: relación entre el buzamiento del talud ( $\beta_s$ ) y el buzamiento de la discontinuidad ( $\beta_j$ ), las mismas se expresan con la letra "C". Esta función varía entre el ángulo de inclinación y el buzamiento de la discontinuidad ya que pueden tener una relación positiva o negativa (Tomás et al., en 2007), expresa el valor de F3 en dos funciones que dependerán del tipo de falla presente en el talud de acuerdo con el análisis cinemático estructural.

Para el tipo de falla planar o cuña C será igual a  $\beta_j - \beta_s$  y la función de F3 será:

$$F3 = -30 + 0.333 \arctan(C) \quad (3.12)$$

Para el tipo de falla por volcamiento C es igual a  $\beta_j + \beta_s$  y F3 es calculado de la siguiente manera:

$$F3 = -13 + 0.143 \arctan(C - 120) \quad (3.13)$$

- F4: factor de ajuste por el método de excavación empleado (Figura 3.26).

SMR = RMR <sub>b</sub> + (F <sub>1</sub> x F <sub>2</sub> x F <sub>3</sub> ) + F <sub>4</sub> (ROMANA, 1985)						
FACTORES DE AJUSTE DE LAS JUNTAS (F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> )	TALUD		JUNTA			
	$\alpha_j / \beta_j$	$\alpha_s / \beta_s$	$\alpha_j$	$\alpha_s$	$\beta_s$	
	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE	
ROTURA PLANA $ \alpha_j - \alpha_s  =$	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°	
VUELCO $ \alpha_j - \alpha_s - 180°  =$						
VALORES	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00	
AJUSTE ANALÍTICO	$F_1 = (1 - \sin  \alpha_j - \alpha_s )^2$					
VALORES	$ \beta_j  =$	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	ROTURA PLANA	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
VUELCO	1.00					
AJUSTE ANALÍTICO	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$					
ROTURA PLANA $\beta_j - \beta_s =$	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< (-10°)	
VUELCO $\beta_j + \beta_s =$	< 110°	110° - 120°	> 120°	-	-	
VALORES	0	-6	-25	-50	-60	
AJUSTE ANALÍTICO	$F_3 =$ (SE MANTIENEN LOS VALORES PROPUESTOS POR BIENIAWSKI, 1976 / 79)					
FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN	$F_4 =$ VALORES EMPÍRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MÉTODO DE EXCAVACIÓN					
	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA ó MECÁNICO	VOLADURA DEFICIENTE	
	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8	

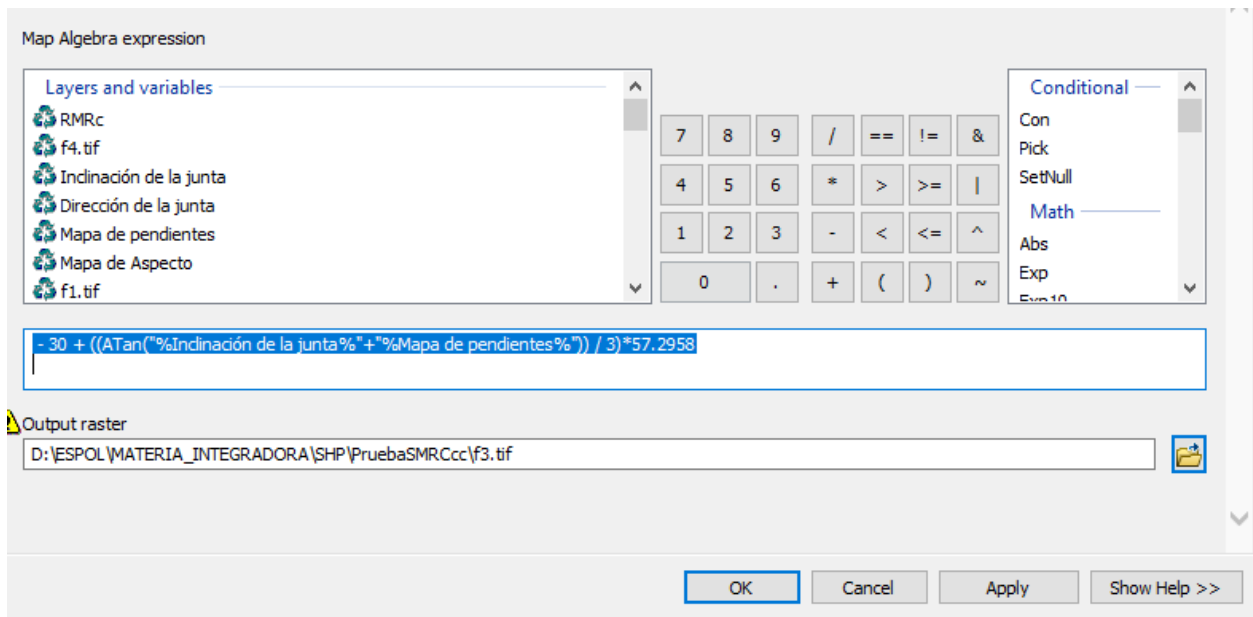
Figura 3.26 Factores de ajuste de la Clasificación SMR (Romana, 1985)

Las variables secundarias están relacionadas con el modelo digital del terreno, aplicando relaciones matemáticas para calcular los factores de ajuste F1, F2 y F3 del SMR-C aplicando del Software de Información Geográfica (SIG). (Figura 3.26)

Para este trabajo se utilizó software de información geográfica el análisis espacial y álgebra de datos (Figura 3.27). Los polígonos de las unidades geomecánica (área del talud) poseen campos rasterizados para el cálculo de los factores de ajuste los cuales son: DIP, DIPDIR, RMRc, F4, Geomorfología, Litología, Geofísica.

Para los campos de DIR y DIPDIR, se identifican zonas de concentración de polos de los planos estructurales recolectados en las fichas geomecánicas implementando la red estereográfica con la falsilla de Smith usando un demo del programa Dips 6 de Rocscience. Con el objetivo de obtener el valor de las medidas de dir (DIR) y dirdirection (DIPDIR) de los planos estructurales principales presentes de la zona de estudio.

Para el cálculo del índice del SMR-C en el software de información geográfica se utilizó la herramienta de ModelBuilder en el cual se construyó un diagrama de flujo (Figura 3.28), donde las variables ingresadas son: área del talud (unidades geomecánicas), mapa de pendientes y mapa de orientación de taludes, las variables de los factores de ajuste del índice SMR-C (F1, F2 y F3) son calculadas con la herramienta del álgebra de mapas "Raster Calculator" (Proceso 3, 4 y 5), en donde se ingresa la función continua correspondiente para el tipo de modelo Cuña/Planar o Volcamiento. (Figura 3.27). Para el proceso 6 y 7 se ingresan los datos obtenidos con el procesamiento de las fichas geomecánicas (Figura 3.28).



**Figura 3.27 Herramienta utilizada para el cálculo del SMR-C.**

Para cada una de las estructuras principales obtenidas se procedió a correr los dos tipos de modelos generados en ModelBuilder (Figura 3.28). Para cada modelo obtenido con los diferentes tipos de estructuras se realiza la clasificación de los valores del índice del SMR-C. Además, cada modelo obtenido fue comparado con las zonas de recurrencia en las cuales se han presentado deslizamientos posteriores. Con esto se realiza la superposición de los dos tipos de modelos para cada estructura y se obtiene el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa para el área de estudio

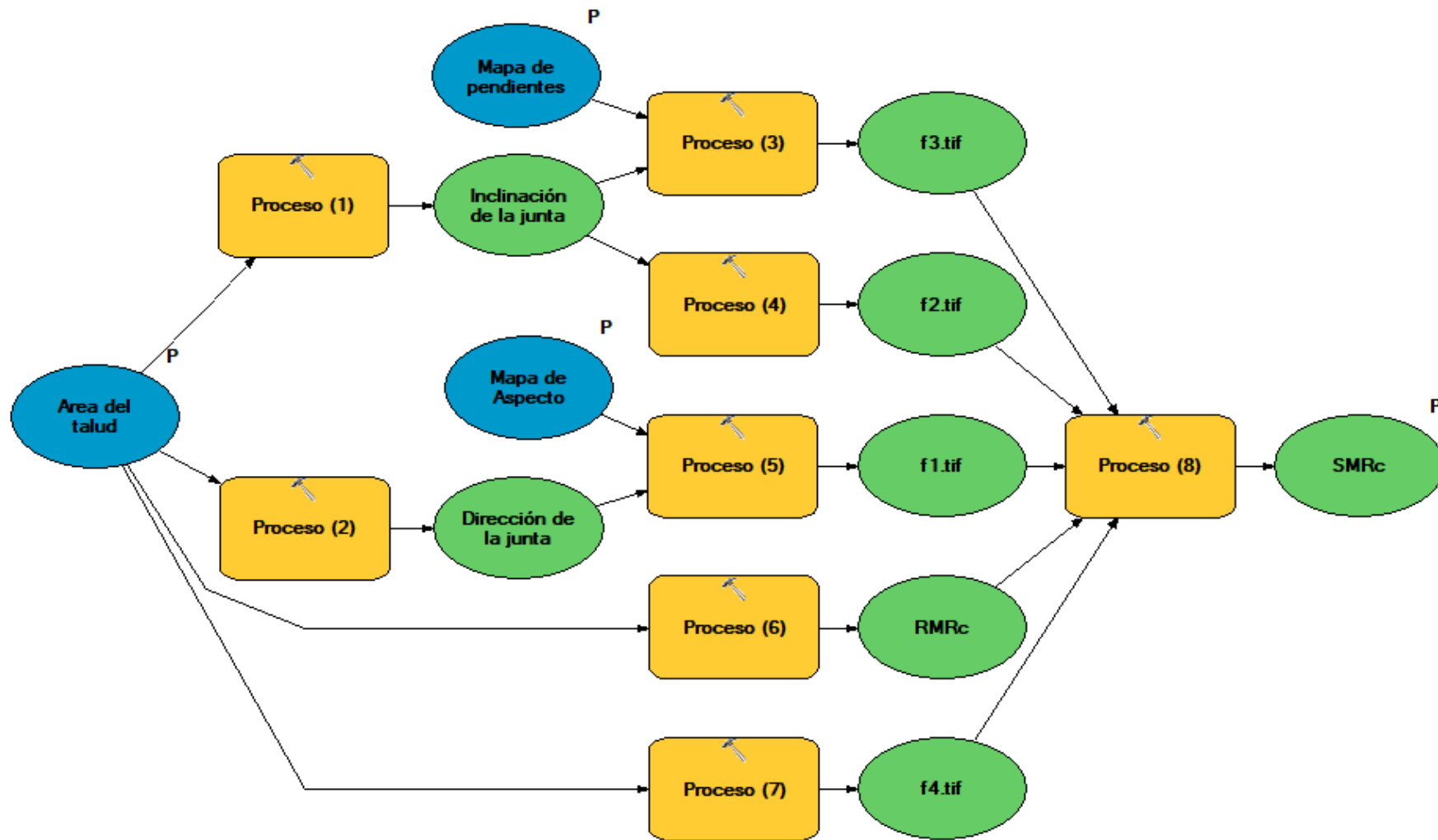


Figura 3.28 Algoritmo para el cálculo del índice de calificación de masa de pendientes (Slop Mass Rating SMR-C) utilizando software de información geográfica (SIG).

# CAPÍTULO 4

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN: GEOLÓGIA

### 4.1 Geología de los cerros del casco urbano de Durán

El levantamiento de datos de campo inicio en la zona sur en el cerro denominado “Las Cabras” (Figura 4.29), en el literal a) se observó dos zonas de fractura en la colina del cerro, además se observa una zona de plegamiento hacia la base en la parte suroeste inferior.

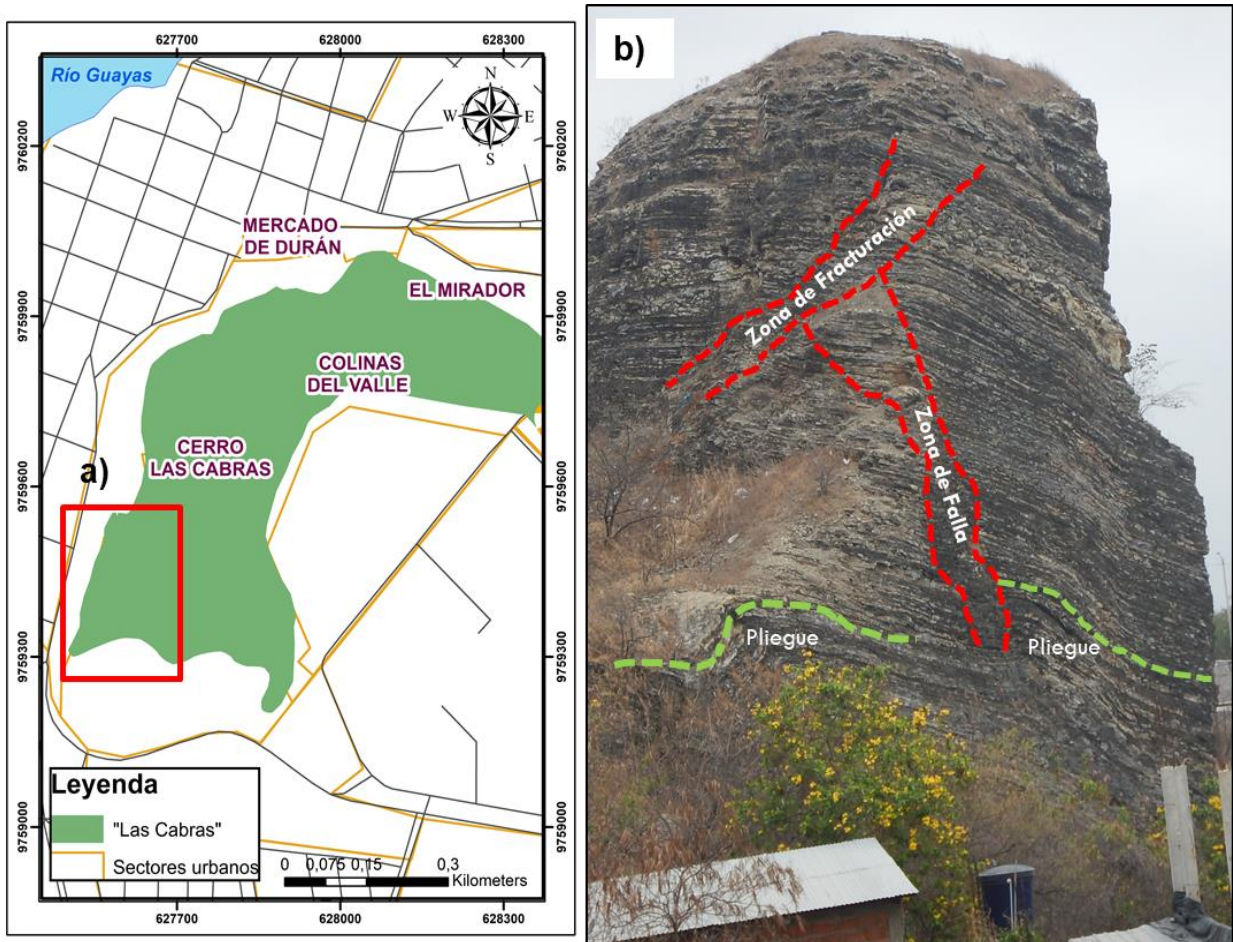
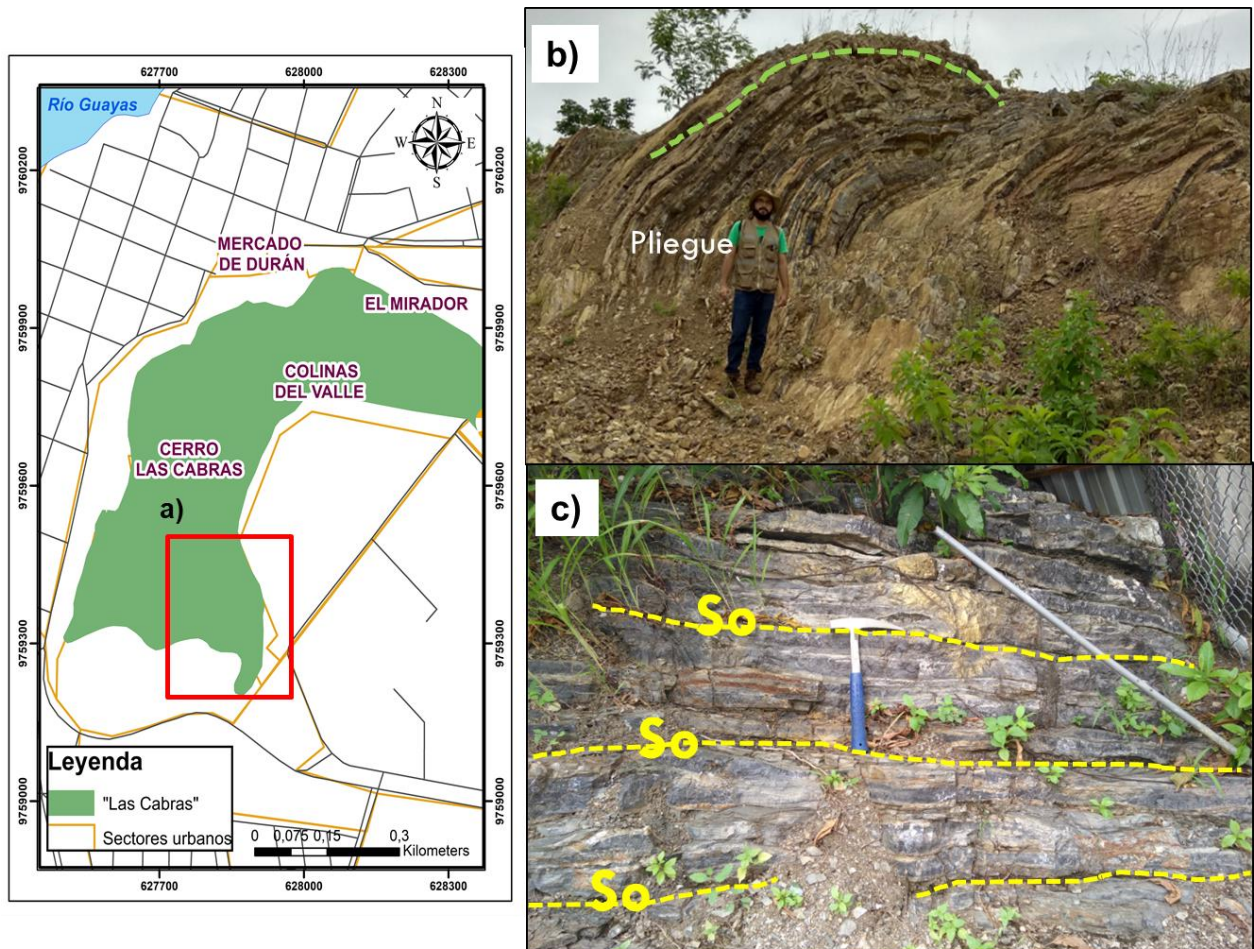
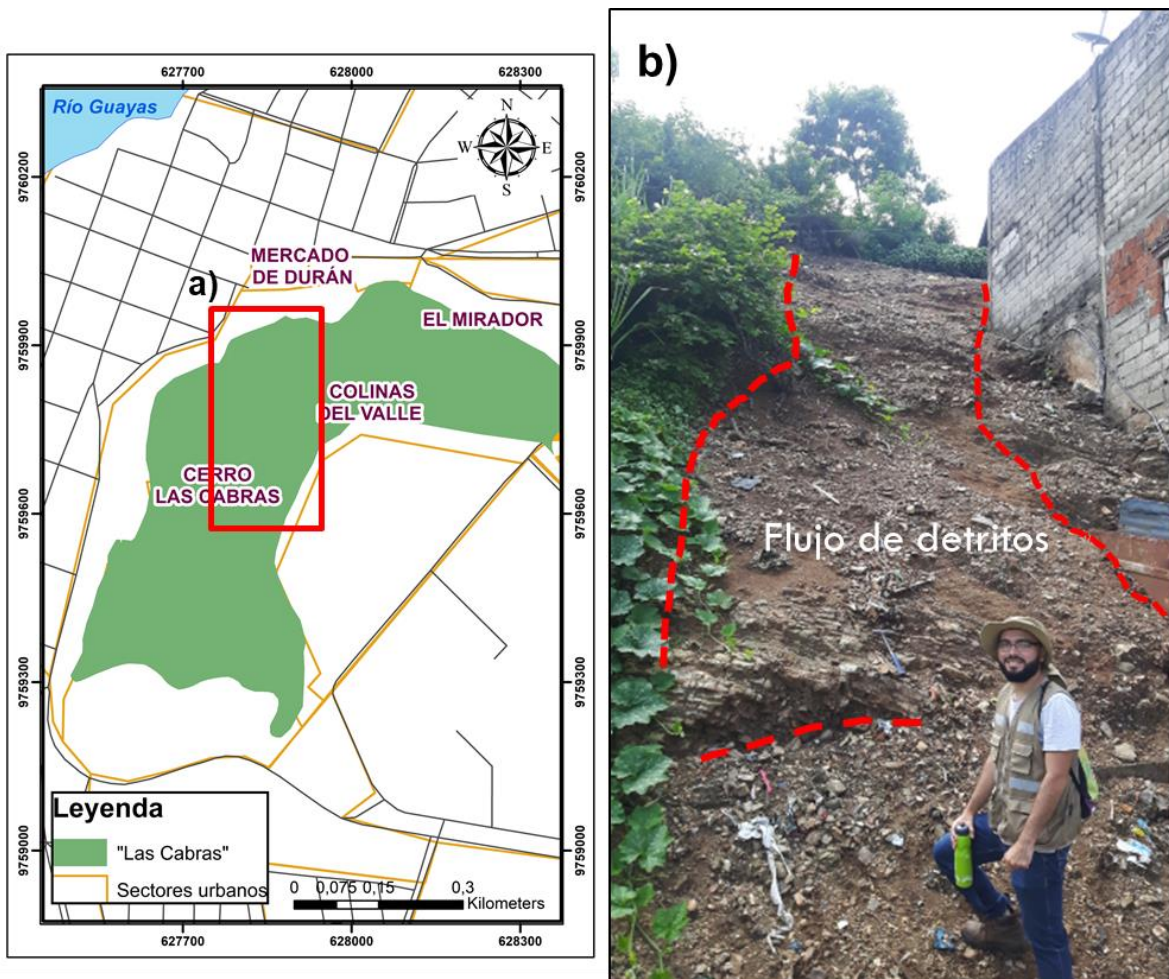


Figura 4.29 Literal a) Cerros “Las Cabras” con la ubicación de los sectores, el rectángulo rojo indica el sur del cerro en donde se tomó la foto adyacente, literal b) ladera oeste del cerro, en líneas rojas punteadas se muestran zonas de fracturación, identificación de pliegues con líneas punteadas de color verde.

En esta zona se observaron afloramientos que presentan unidades de lutita silicificada de alternancia de color marrón y tonalidades grises de capas cm (ver figura 4.30, literal c)), en el sector se encuentra un anticlinal de aproximadamente 4m de altura con capas de espesor de 10-20 cm aproximadamente de tonalidad marrón claro 4m y colores grises, en la figura.

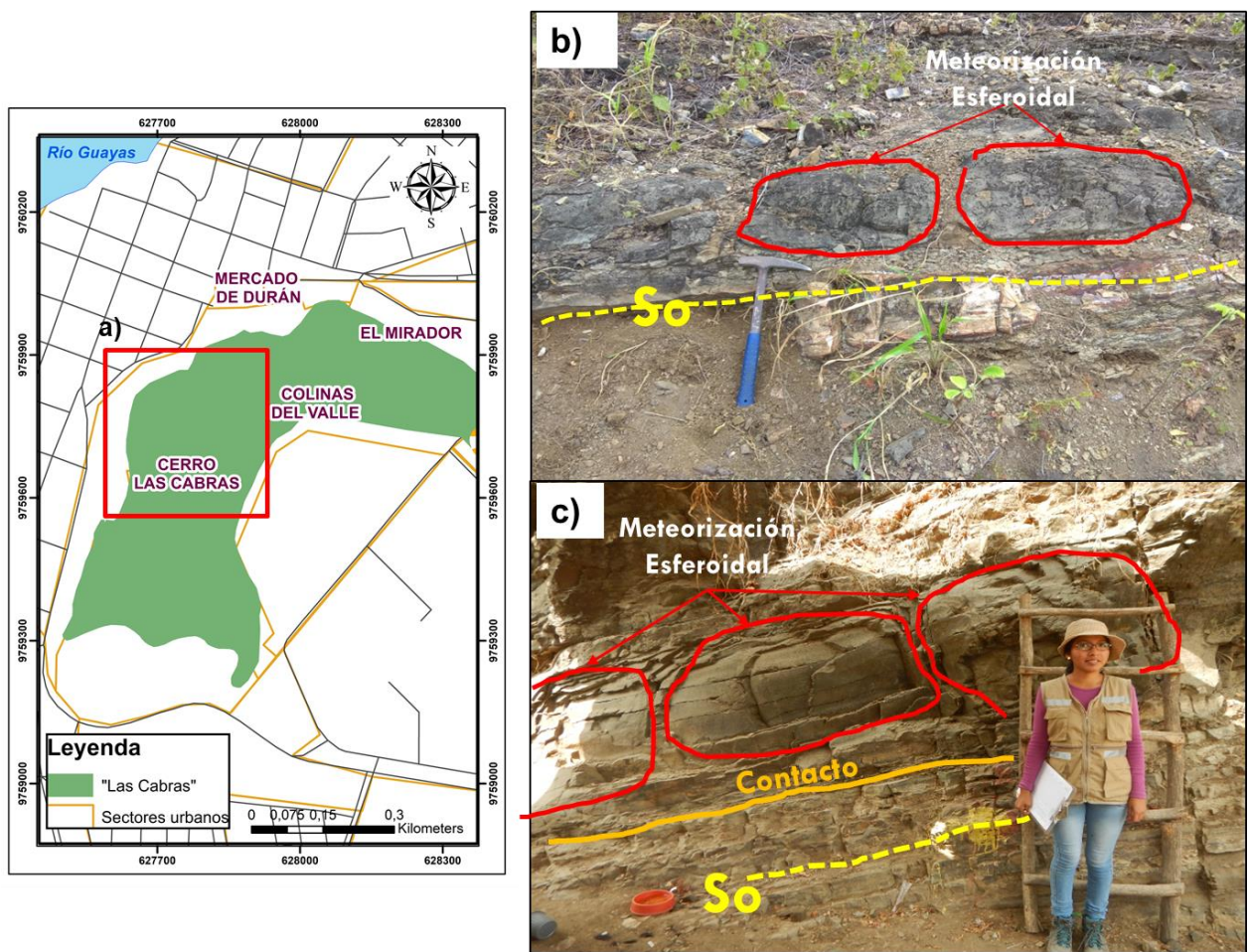


**Figura 4.30 Afloramientos presentes al sueste del cerro “Las cabras” en el sector de colinas del valle. Literal b) anticlinal de lutita silicificada. Literal c) afloramiento de lutita silicificada So estratificación (línea entrecortada de color amarillo).**



**Figura 4.31 Cerros “Las Cabras” con su sectorización, el rectángulo rojo indica el sector centroeste del cerro en donde se tomaron las fotos del literal b) Flujo de detritos en líneas punteadas se delimita la zona de reptación del material rocoso.**

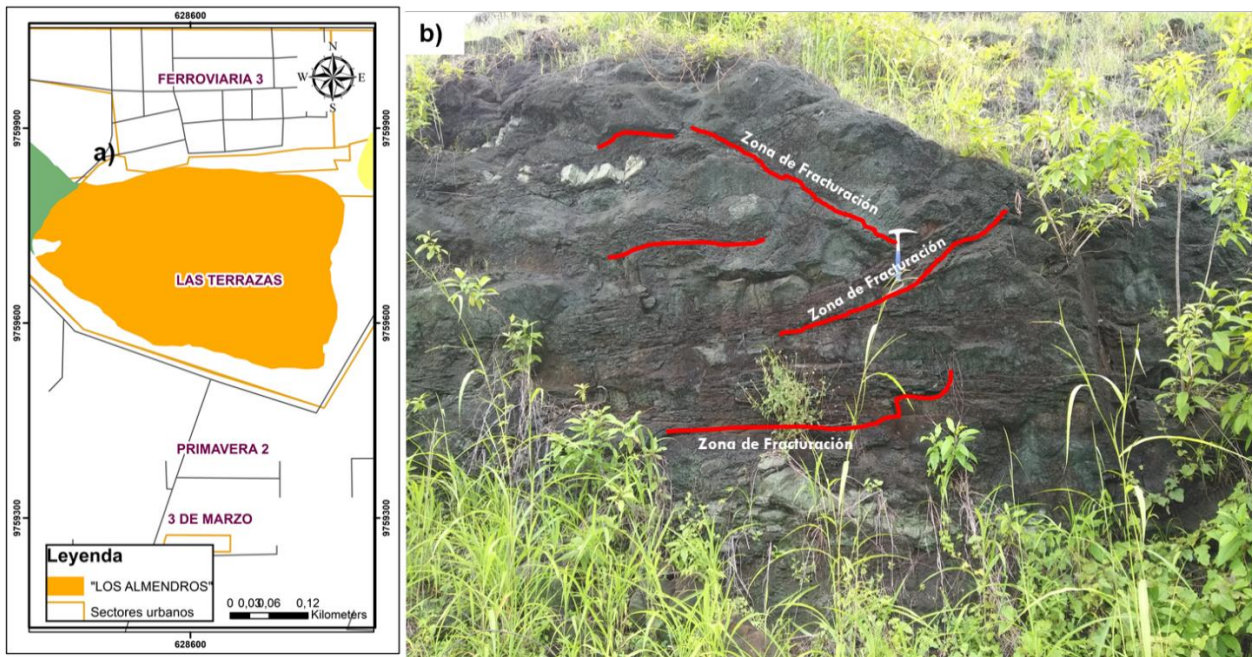
En la zona central del cerro “Las Cabras” (ver figura 4.32), se observaron afloramientos que muestran contactos litológicos entre lutita silicificada de color marrón claro y areniscas de tonalidad grises, con presencia de meteorización esferoidal, (figura 4.32, literal b)) se observó un afloramiento de potencia dcm, en base se observó una capa de 20 cm de lutita silicificada que está en contacto erosivo con una capa de 40 cm de arenisca fina. (figura 4.32, literal c)) presencia de contacto erosivo en un afloramiento métrico en la base se observa lutita de capas intercaladas de 10-20 cm de color marrón y en la parte superior se observa la unidad de arenisca fina de color marrón claro presentada en un bloque de aproximadamente 4m de altura con meteorización esferoidal.



**Figura 4.32 Cerros “Las Cabras” con su sectorización, el rectángulo rojo indica el sector central del cerro en donde se tomaron las fotos. Literal a) Contacto entre lutita silicificada de color marrón y arenisca fina de tonalidades grises, con presencia de meteorización esferoidal. Literal b) contacto de arenisca fina y de lutita silicificada de color marrón, la línea amarilla entrecortada delimita la estratificación So.**

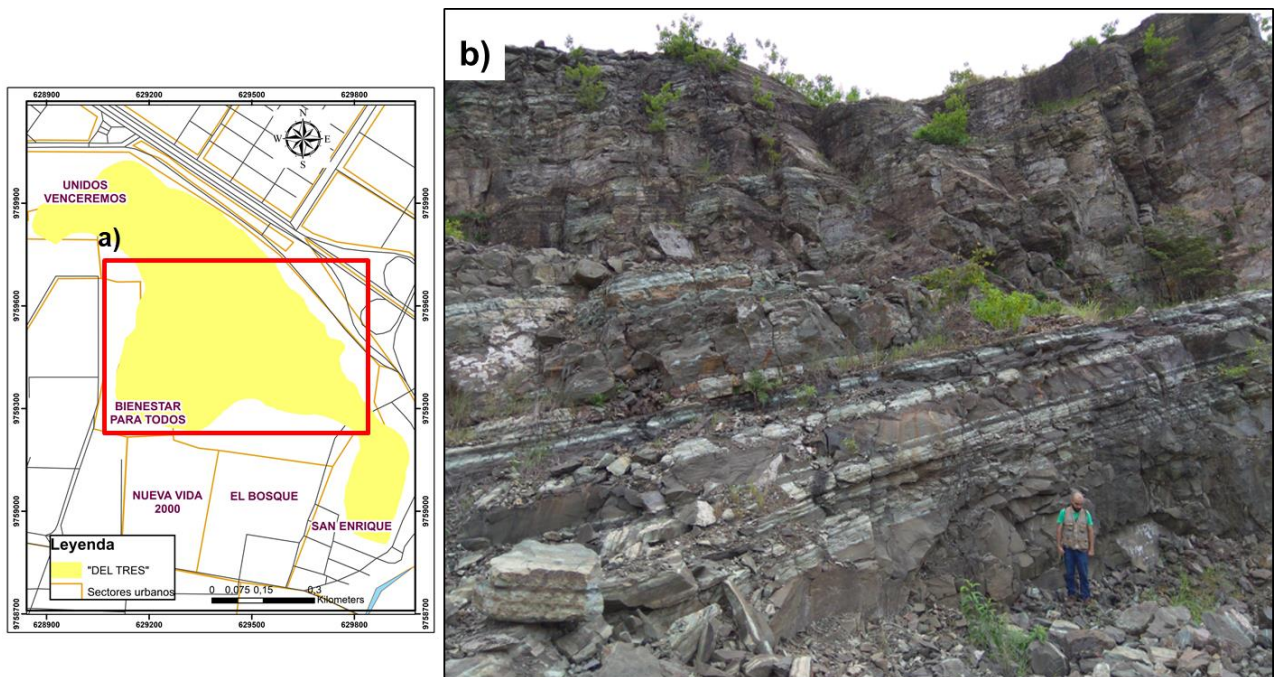
El sector norte del cerro “Los Almendros” (figura 4.33), se identifica la estructura primaria correspondiente a la estratificación de las rocas con una orientación de  $190^{\circ}/20^{\circ}$  (Dirección de buzamiento/ Buzamiento). La figura 4.33, Literal b), se observa un afloramiento de potencia métrica de capas intercaladas de brecha y areniscas gruesas con presencia de meteorización esferoidal, zonas de fracturas y plegamientos.





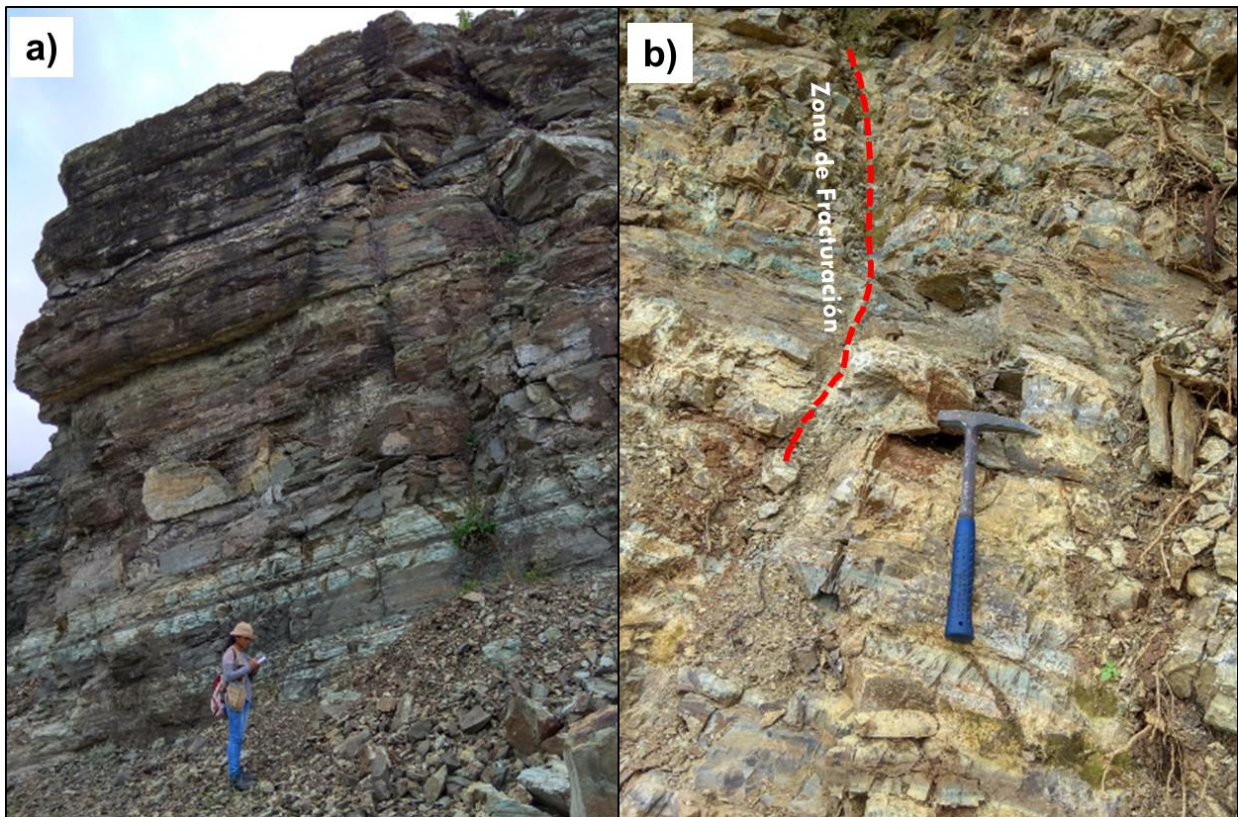
**Figura 4.33 literal a) Cerros “Los Almendros” con su sectorización, literal b) afloramiento de arenisca gruesa, existen zonas de fracturación indicadas con la línea roja.**

El cerro “Del Tres” (figura 4.34), literal b) se observa un afloramiento de potencia aproximada de 10 m del se observan capas estratificadas de lutita silicificada de color gris con tonalidades verdosas intercaladas entre tamaños de 5 -10 y 20 cm de espesor, a lo largo del afloramiento se observan zonas de fracturación.



**Figura 4.34 Cerros “Del Tres” con su sectorización, el rectángulo rojo se remarca un sector centro del cerro. Literal b) Afloramiento presente en el cerro “Del Tres”, presencia de zonas de fracturación. So estratificación.**

En la figura 4.35, en el literal a) se observa un afloramiento de 10 m de potencia de intercalación entre lutitas silicificadas y areniscas finas de color gris con tonalidades verdosas, en las cuales se observan zonas de fracturación, en el literal b) figura 4.35 se observa lutita de color marrón de capas de tamaño dcm fracturado.



**Figura 4.35 Afloramientos presentes en el Cerro “Del Tres”. Literal a) zonas de fracturación de rocan, literal b) zona de fracturación.**

En la figura 4.36, en el literal a) se muestra un contacto neto entre lutitas silicificada de color marrón oscuro con tonalidades grises y verdosas de capas cm estratificadas con potencia de 7 m, en la parte superior se observa arenisca fina de color gris verdoso de 4 m de potencia aproximadamente. En el literal b) se observa un afloramiento de 25 m aproximadamente de intercalaciones de lutita silicificada y areniscas fina de color gris con tonalidades verdosas, en las cuales se observa zonas de fracturas a lo largo del afloramiento.

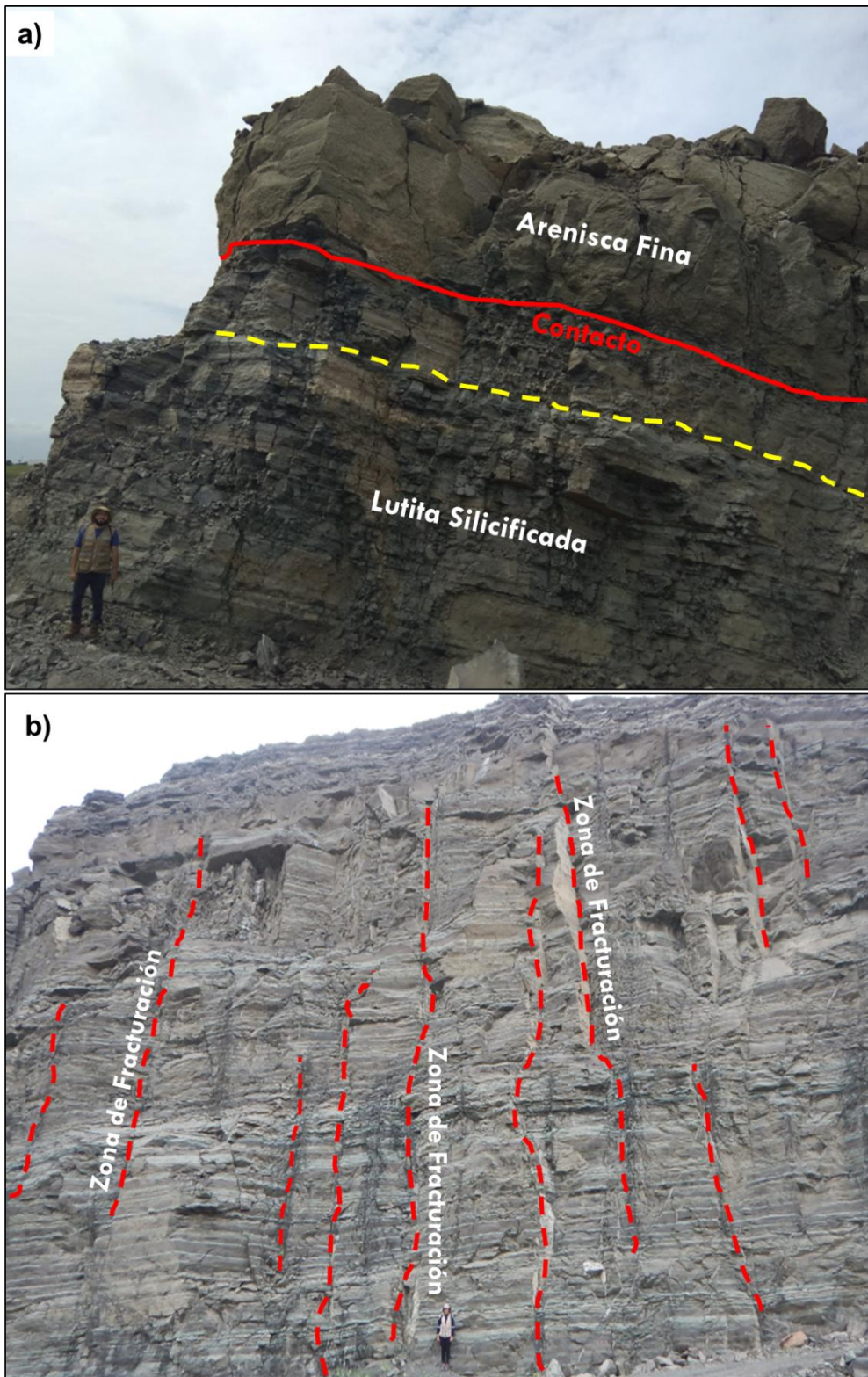
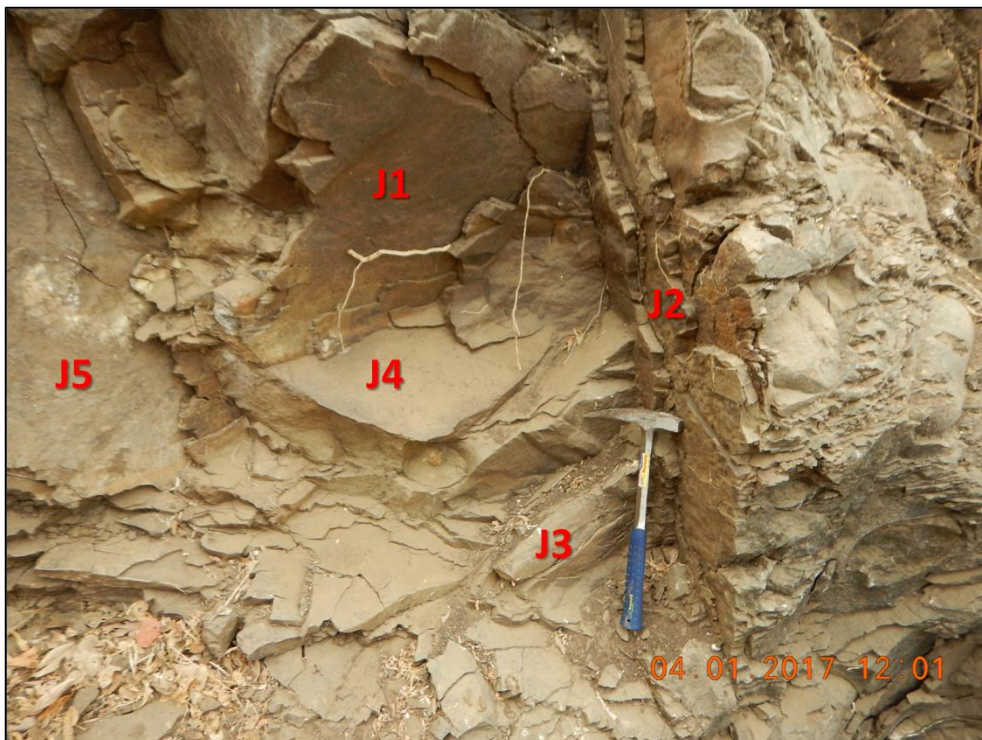


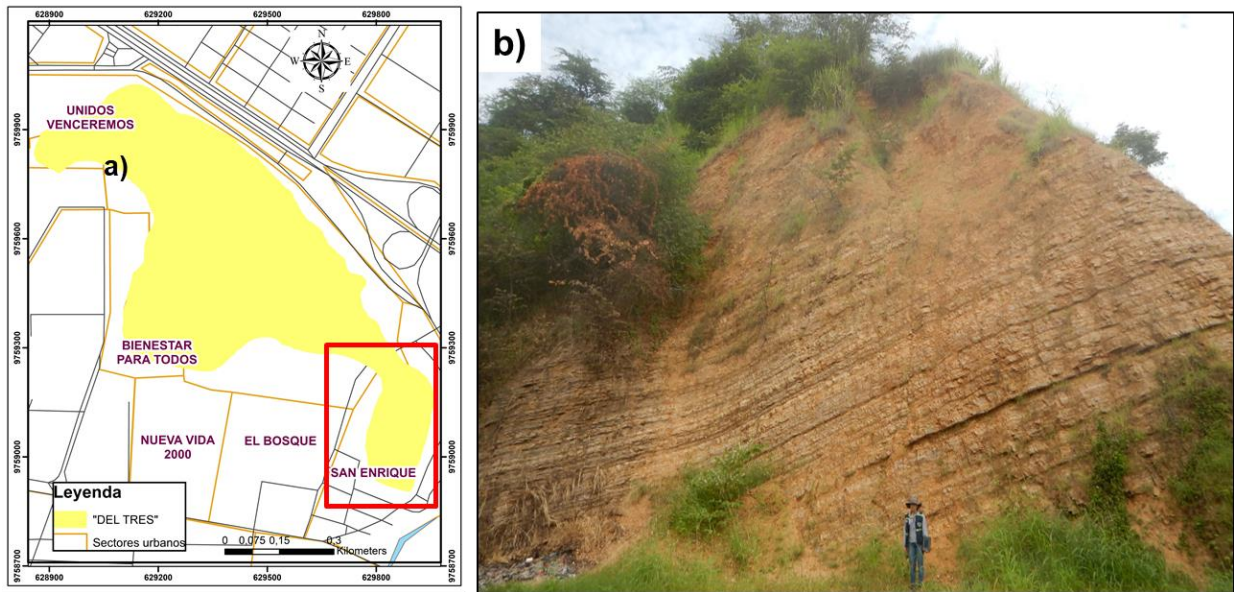
Figura 4.36 Afloramientos presentes en el Cerro “La Cantera”. Literal a) contacto (línea roja) presente entre lutita silicificada y arenisca fina. Litera b) zonas de fracturación (línea roja).

El sector norte del cerro Del Tres se identificaron estructuras primarias identificadas la estratificación de las rocas con una orientación de  $200^{\circ}/20^{\circ}$  (Dirección de buzamiento/Buzamiento) fácilmente inidentificable en las capas de arenisca y limolitas. Se identificaron estructuras secundarias correspondiente a familias de diaclasas en capas de brecha y areniscas. (Figura 4.37).



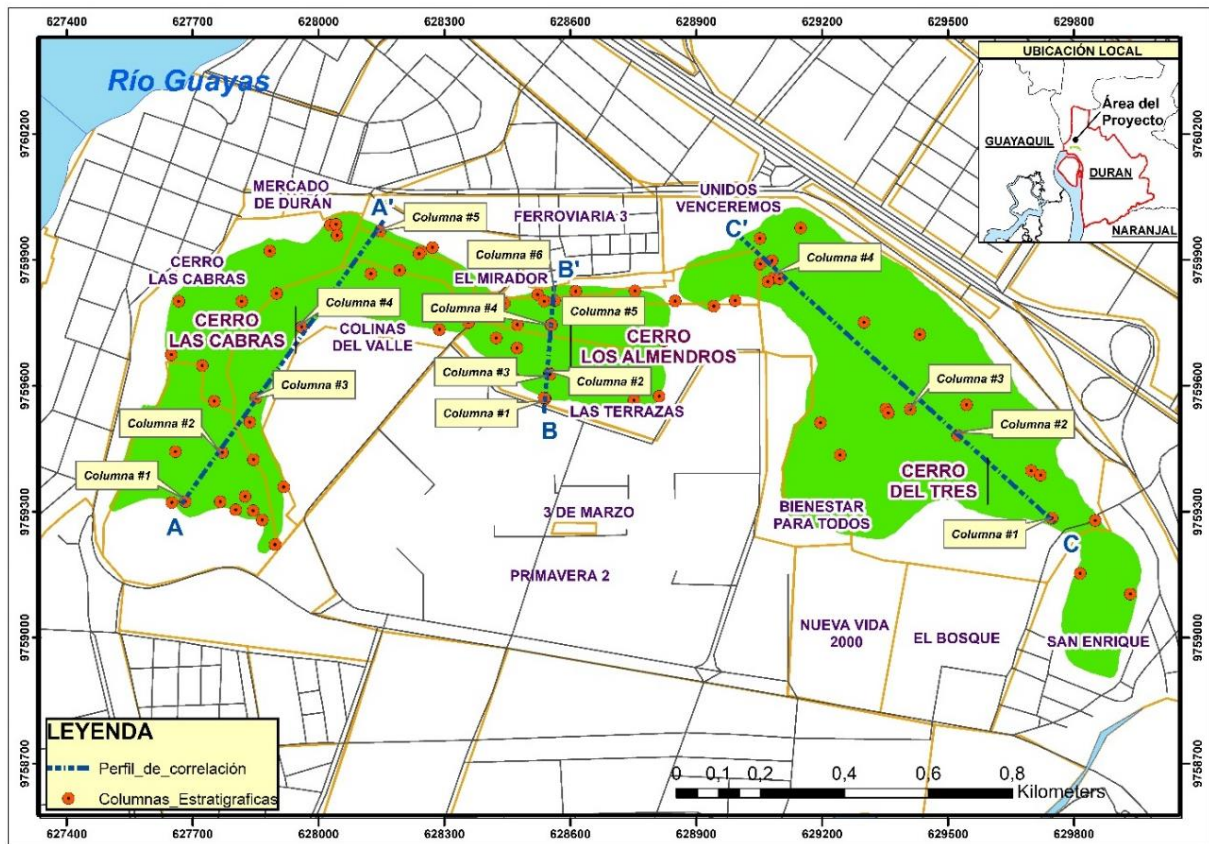
**Figura 4.37 Estructuras secundarias presentes en el sustrato rocoso en el área de estudio. (J) junta o diaclasa. (Valdiviezo Ajila, 2014)**

La ubicación del cerro San Enrique se indica en la figura 4.38, este sector se caracteriza por presentar una secuencia de lutitas silicificadas, intercaladas con limolitas y tobas de color gris a crema (Figura 4.38, literal b)), la estratificación se observa bien marcada con estratos que se alternan entre 20 a 30 cm con pequeñas bandas de pedernal observables en nódulos color negro.



**Figura 4.38 Cerros “Del Tres” con su sectorización. El rectángulo rojo se remarca el sector San Enrique. Literal b) Afloramiento perteneciente al cerro “San Enrique”.**

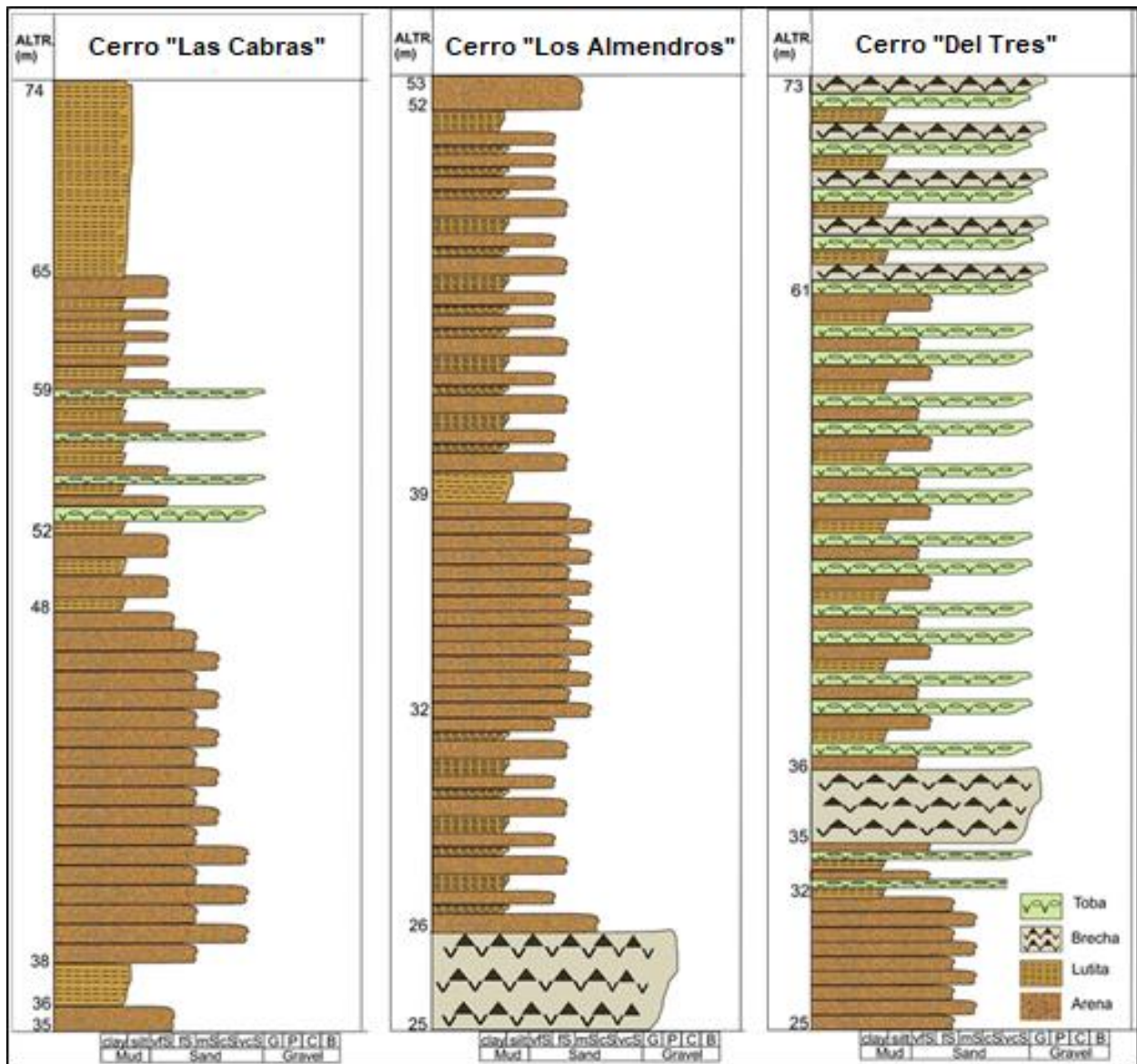
Se construyó una columna estratigráfica representativa para cada cerro, litocorrelacionando las características litológicas de las unidades rocosas (Anexo 9.1 y Anexo 9.2). Las columnas que cortan los perfiles trazados: el perfil A-A’ (cerro “Las Cabras”), el perfil B-B’ (cerro “Los Almendros”) y el perfil C-C’ (cerro de “Del Tres”) partiendo desde su cota de ubicación (Figura 4.39).



**Figura 4.39** Ubicación espacial de las 144 columnas estratigráficas (puntos naranjas) levantadas en campo, la línea azul demarca los perfiles de litocorrelación en los cuales se indica la localización de la columna estratigráfica enumerada con respecto a la correlación.

Las columnas estratigráficas son herramientas geológicas que permiten esquematizar, agrupar y diferenciar la asociación de las rocas en determinados sectores de acuerdo con su tipo y origen para luego definir unidades litológicas (Figura 4.40)

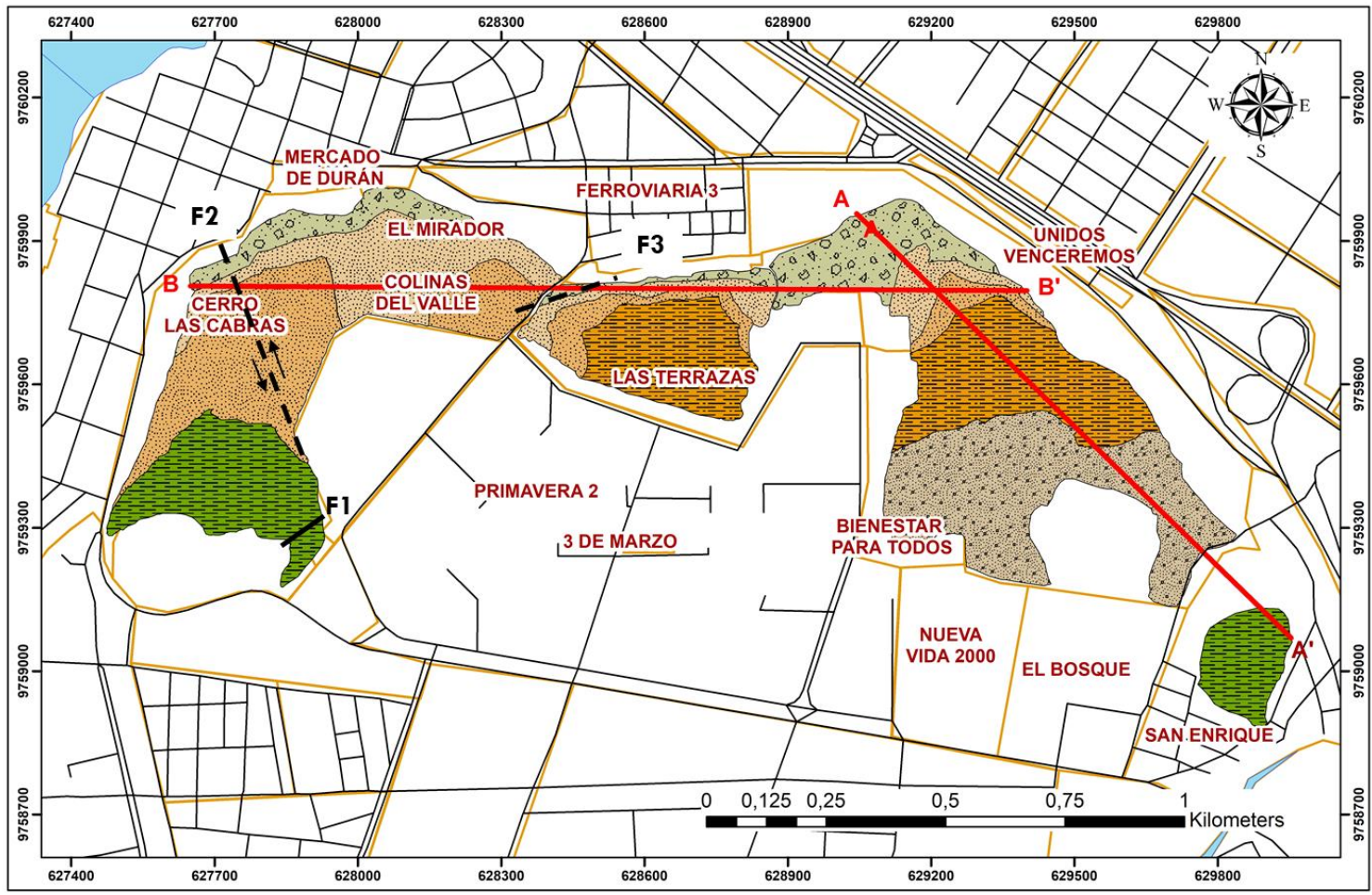
=



**Figura 4.40** Columnas representativas de cada cerro del área de estudio.

Se construyó el mapa litoestructural de los cerros del casco urbano del cantón Durán, el cual es la representación de los cuerpos de roca o suelo, identificados mediante la interpretación de las columnas representativas (Figura 4.41); así como también la inclusión de las relaciones espaciales entre las diferentes estructuras geológicas como: fallas, fracturas, diaclasas, y estratificación litológica. Con esto se sintetizó seis grupos litológicos, además se generaron dos cortes geológicos, con el objetivo de conocer su disposición (Figura 4.41).



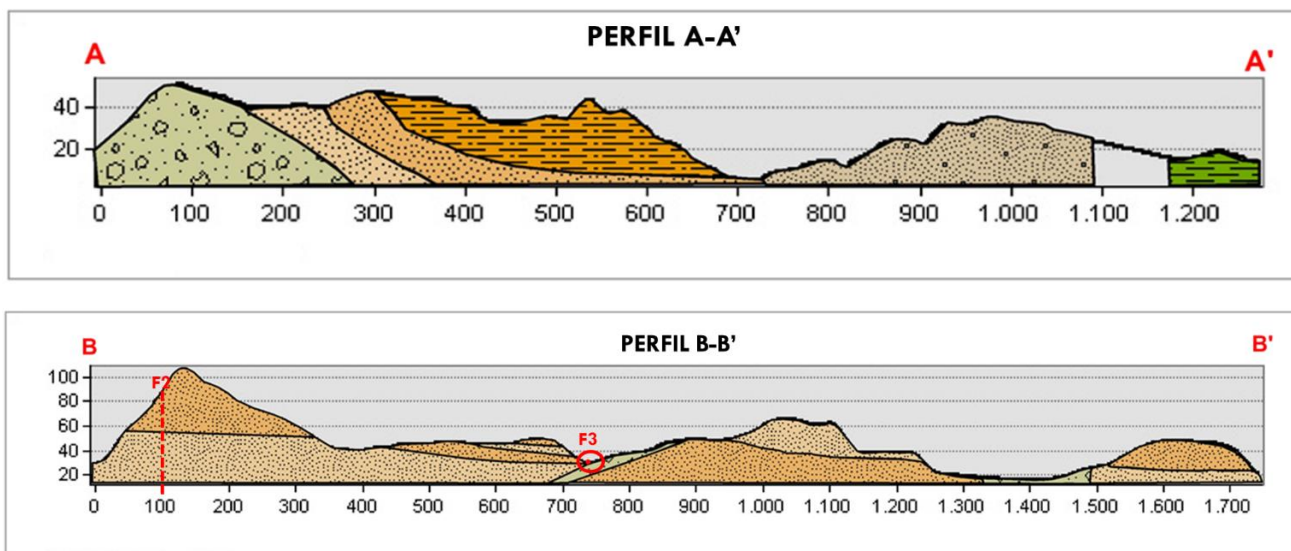


**LEYENDA TEMATICA**

- - - Falla
- Perfil

**Litología**

- Arenisca Fina
- Arenisca Guesa
- Arenisca-Lutita
- Brecha-Arenisca
- Brecha-Lutita
- Lutita



**Figura 4.41 Mapa litoestratigráfico perteneciente a los cerros del casco urbano del cantón Durán.**

La litoestratigrafía del área de estudio se agrupa en seis diferentes paquetes litológicos:

- Lutita se presentan en el flanco sur del cerro “Las Cabras” y en al sur del cerro “Del Tres” corresponde a el 11% del área de estudio con dirección estructural de DIPDIR 190/DIP 20, presentan una potencia que varían entre los 20 a 60 m. Se encuentran en contacto concordante continuo con las rocas de la formación Cayo. Se caracterizan por presentar capas de espesores dcm color gris y gris verdoso de lutitas silicificadas, bien estratificadas y compactas, con presencia de nódulos de chert color gris oscuro a negro (figura 4.30, literal c)); poseen intercalaciones de limos color marrón claro estratificado compacto de 10 mm a 1 cm de espesor, al sur del Cerro Las Cabras se observa la formación de suelo laterítico (Figura 4.31, literal b)). La estratificación (So) presenta un dirección de buzamiento predominate de  $170^{\circ}$  con  $20^{\circ}$  de inclinación, en ciertos lugares pueden presentar pliegues y estructuras de carga estructuralmente esta atravesado por la Falla DIPDIR 150/DIP 20 y la Falla DIPDIR 290/DIP 80 hacia el su (UTM 17 S 634553/9759614).
- Arenisca Fina, se extiende desde la ladera centro y norte del cerro “Las Cabras”, en el flanco sur del cerro “Los Almendros” y al norte del cerro “Del Tres” ocupando

aproximadamente el 24% del área total, estratigráficamente esta litología es grano decreciente una medida estructural de DIPDIR 180/DIP 20, además se encuentra atravesada por una Falla con dirección DIPDIR 290/DIP 80, presenta una potencia variable de 40 m a 50 m en contacto concordante continuo con las rocas de la formación Cayo. Se caracteriza por presentar capas de espesor dcm de color marrón claro a oscuro.

- Arenisca Gruesa, se extiende desde la ladera centro sureste y norte del cerro “Las Cabras”, observándose al sur del cerro “Los Almendros” y centro del cerro “Del Tres” representando el 25% del área total estructuralmente se encuentra atravesado por una Falla con dirección DIPDIR 80/DIP 290, su estratificación (So) se presenta con DIPDIR 200/20, estratigráficamente posee grano decreciente en dirección este. Capas de espesor m de arenisca color marrón a gris con presencia de meteorización esferoidal.
- Arenisca-Lutita, representa un 13% del área de estudio, se dispone en los flancos sur del cerro “Los Almendros” y en el centro sur del cerro “Del Tres” estructuralmente se posee en DIPDIR 190/DIP 18. Se caracteriza por capas intercaladas dcm de arenisca color marrón oscuro con capas de espesor dcm a cm de lutitas color gris oscuro.
- Brecha-Arenisca, se dispone al norte de la zona de estudio y corresponde al 12% del total, estructuralmente se encuentra atravesado por tres fallas, al noroeste por la falla con dirección DIPDIR 290/DIP 80, al centro norte por la falla con dirección DIPDIR 170/DIP 25 y al noreste por la falla con dirección DIPDIR 205/DIP 22. Se caracteriza por capas de espesor dcm de areniscas gruesas color marrón oscuro y capas de espesor dcm de brechas de color gris oscuro, en esta unidad se observa la presencia de meteorización esferoidal.
- Brecha-Lutita, representa un 12% de la zona de estudio y esta se observa exclusivamente en el cerro “Del Tres”. Se caracteriza por una potencia variable de

10 a 30 m, con capas dcm a mm de lutitas color verdosos a grises y capas dcm a m de brecha de color gris con nódulos de silice.

#### 4.2 Inventario de movimientos en masa históricos de Durán

Se realizó la recopilación de deslizamientos históricos ocurridos en la zona de estudio con el fin de identificar sectores de recurrencia a movimientos en masa, los puntos geográficos de eventos recurrentes fueron otorgados por el GAD municipal del cantón Eloy Alfaro con los que se creó una base de deslizamientos. (Anexo 9.3)

Dentro del área urbana del cantón Eloy Alfaro se tiene registro de 30 eventos con su localización entre los años del 2013, 2014, 2017 y 2018 (figura 4.42). Con esta información se realizó una base de datos de movimientos en masa, donde se incluye la fecha, la fuente, coordenada geográfica, el sector y el tipo de evento.

#### DESLIZAMIENTOS HISTÓRICOS

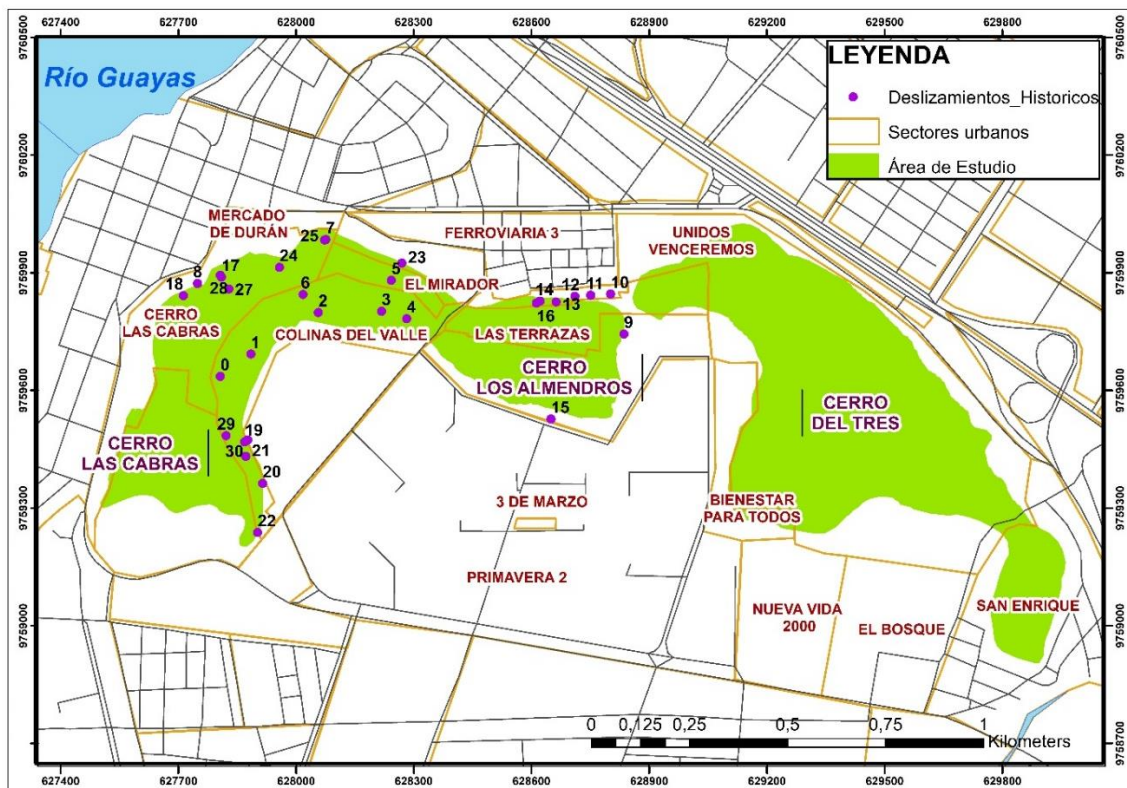


Figura 4.42 Deslizamientos Históricos de los cerros del casco urbano de Durán registrados por el GAD de Durán.

En la figura 4.42, se muestra la concentración de deslizamientos históricos en seis sectores del área de estudio: cuatro perteneciente al cerro “Las Cabras”: Colinas de valle, el mirador, mercado de Durán y cerro Las Cabras, y perteneciente al cerro “Los Almendros”: las Terrazas.

Los cuatro sectores pertenecientes a el cerro “Las Cabras” serán descritas a continuación:

- En el sector de colinas del valle, en la parte sur se identificó una zona de recurrencia a movimientos en masa de dos tipos: flujos de detritos y caídas de roca, en los años 2017 y 2018. En la parte sección centro y norte del sector se ha identificado deslizamientos en los años del 2013 y 2014.
- En los sectores de cerro Las Cabras, Mercado de Durán y el Mirador, en su parte central y norte se identifican dos tipos de movimientos en masa: flujos de detritos y caídas de rocas ocurridas en los años del 2014 y 2017.
- En el sector de las Terrazas pertenecientes a el cerro “Los Almendros” se identifican dos tipos de movimientos en masa: flujos de detritos y caídas de rocas ocurridas en los años del 2013, 2014 y 2017.

Analizando las fechas y los sectores que presentan movimientos en masa, se identifica que los años 2014 y 2017, fueron los más fuertes en los cuales se suscitaron 25 de los 30 eventos, principalmente en los sectores del cerro Las Cabras y las Terrazas.

# CAPÍTULO 5

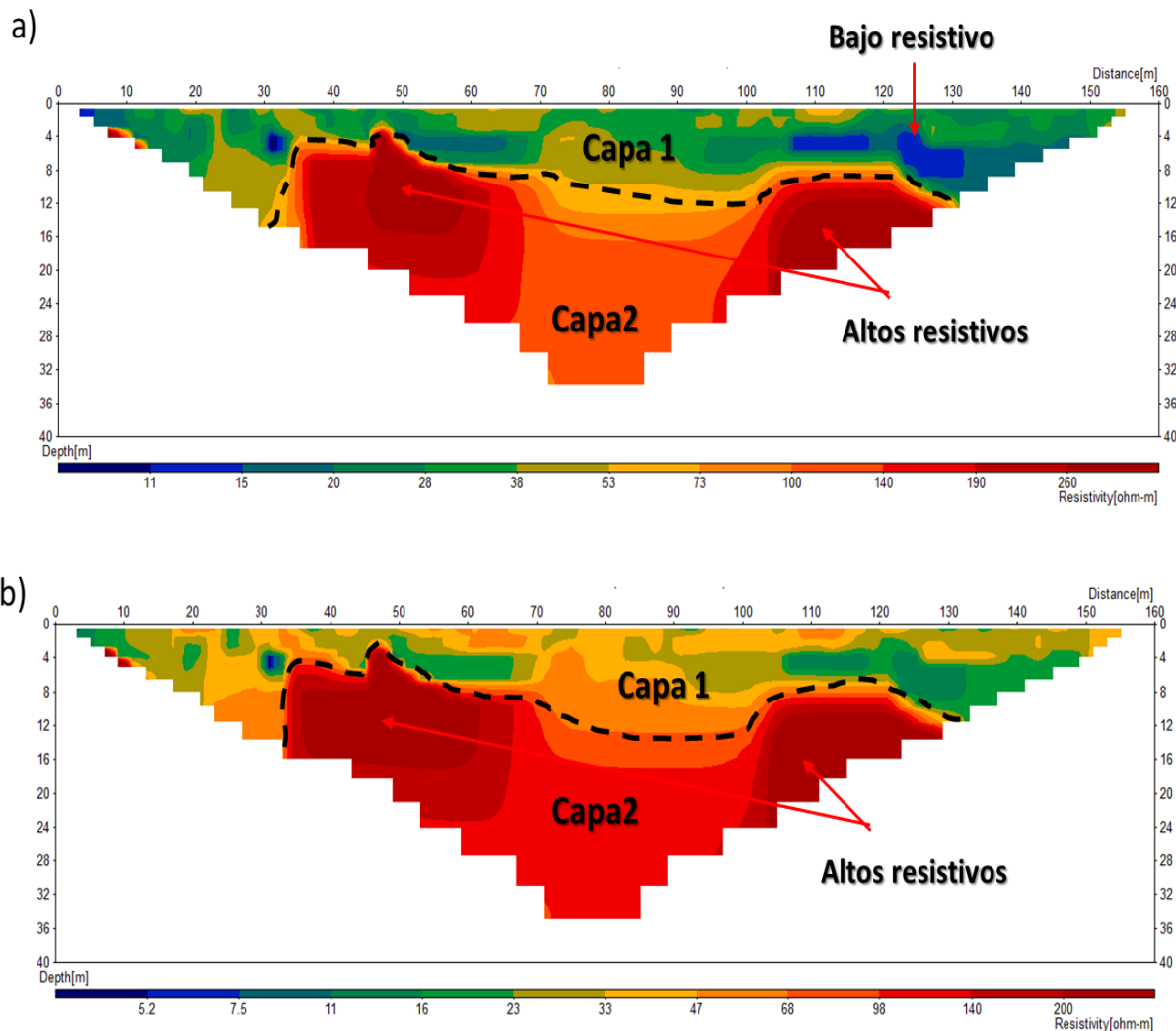
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN: GEOFÍSICA

En este apartado se procedió a describir, analizar e interpretar los resultados obtenidos para cada TER. A continuación se describe cada tomografía eléctrica visualizada en el software del Erigraph, en la cual se realizó la conversión de los datos invertidos de formato. INV a valores de resistividades verdaderas de formato. RHO. Posteriormente se generó los modelos de unidades geoelectricas correlacionando las litologías presentes y sus respectivas resistividades. Las pseudosección con corrección topográfica y sin corrección topográfica obtenidas con el software RES2DINV para los dos métodos de inversión se encuentran en el Anexo 9.4.

El error cuadrático medio para las TER no es mayor al 4%, en ninguno de las imágenes mostradas, este error es aceptable por lo tanto los perfiles son aptos para su descripción.

### 5.1 Tomografía eléctrica de resistividad RES1\_NS

La figura 5.43 se muestra las resistividades obtenidas con las técnicas de inversión, estas son similares, por ende, se describirán conjuntamente. En la pseudosección se destacan dos capas, la primera capa posee rangos desde los 7.5 a 53 [ $\Omega$ m] con una profundidad de 12 m, sin embargo, se observan dos cuerpos con menor resistividad de 7.5 [ $\Omega$ m] con una extensión de 20 m y la segunda capa posee resistividades de 53 a 260 [ $\Omega$ m] que va desde los 12 m hasta los 33 m, en los cuales se pueden observar dos cuerpos distribuidos a los lados con resistividades mayores de 140 [ $\Omega$ m].



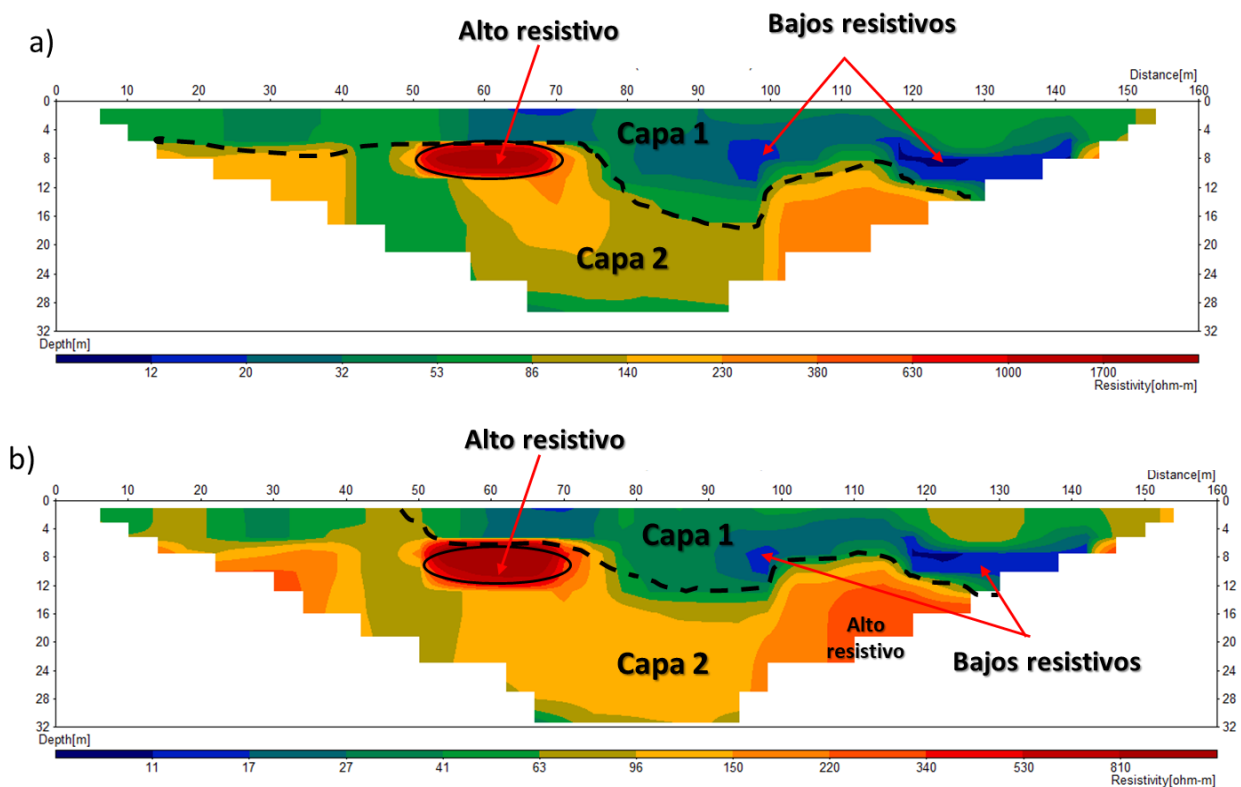
**Figura 5.43** Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES1\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ohm-m].

## 5.2 Tomografía eléctrica de resistividad RES2\_NS

En la figura 5.44 se muestran las pseudosecciones con los dos métodos de inversión, en el literal a) se muestra una pseudosección que posee un rango de resistividades que va desde 12 a 1700 [ $\Omega\text{m}$ ], en esta se diferencian dos capas la primera posee un valor de resistividad de 29 a 86 [ $\Omega\text{m}$ ], con un espesor aproximado de 14 m en la cual se observan cuerpos con resistividades menores de 12 [ $\Omega\text{m}$ ] intruidos a una profundidad de 12 m con

una extensión de 60 m; la capa 2, posee resistividades que va desde 86 a 630  $[\Omega\text{m}]$ , sin embargo posee un cuerpo resistivo de forma esférica con valores resistivos de 1000-1700  $[\Omega\text{m}]$  que posee una región una longitud de 20 m y un espesor de 4 m.

En el literal b) se muestra igualmente dos regiones resistivas con cuerpos de resistividad anómala a las adyacentes, el rango de resistividades es de 11 a 810  $[\Omega\text{m}]$ .



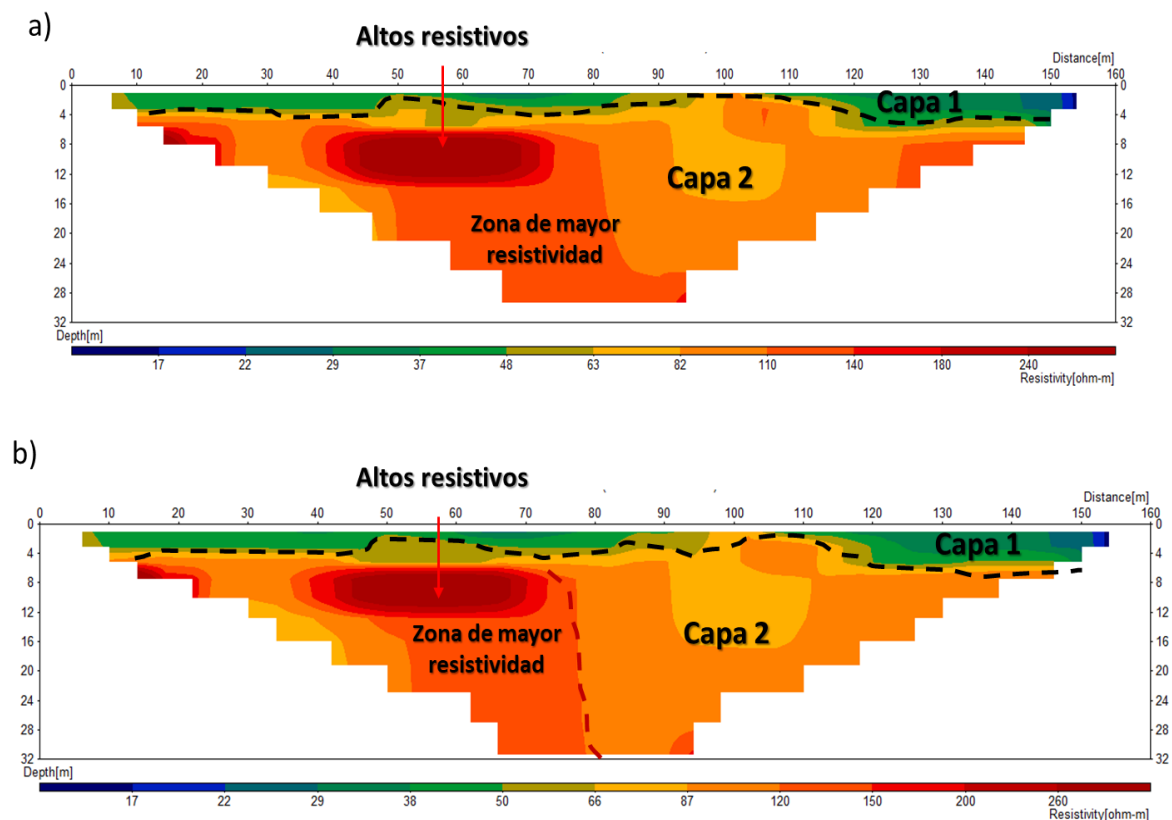
**Figura 5.44** Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES2\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de  $[\text{ohm}\cdot\text{m}]$ .

### 5.3 Tomografía eléctrica de resistividad RES3\_NS

En la figura 5.45, se visualizan los dos métodos de inversión implementados, estos poseen aproximación en su rango de resistividad que va de 17  $[\Omega\text{m}]$  a valores mayores de 200  $[\Omega\text{m}]$ , además de observarse una geometría similar, por tal razón se realizó una descripción conjunta.



La capa 1 posee una profundidad de 4 m que se extiende a lo largo de la tomografía, esta capa posee un rango de resistividades que van de 37-50 [ $\Omega\text{m}$ ], la capa 2, posee un rango de resistividad que va de 63 a 150 [ $\Omega\text{m}$ ], posee una profundidad aproximada de 28 m, sin embargo en esta región se identifica un cuerpo esferoidal con resistividades de 180 a 270 [ $\Omega\text{m}$ ]; sin embargo, en el literal b) se demarca una posible estructura con una línea roja punteada vertical que delimita dos zonas de resistividad en la misma región, al lado derecho resistividades de 120 a 250 [ $\Omega\text{m}$ ] y a lado izquierdo valores de 66 a 120 [ $\Omega\text{m}$ ].



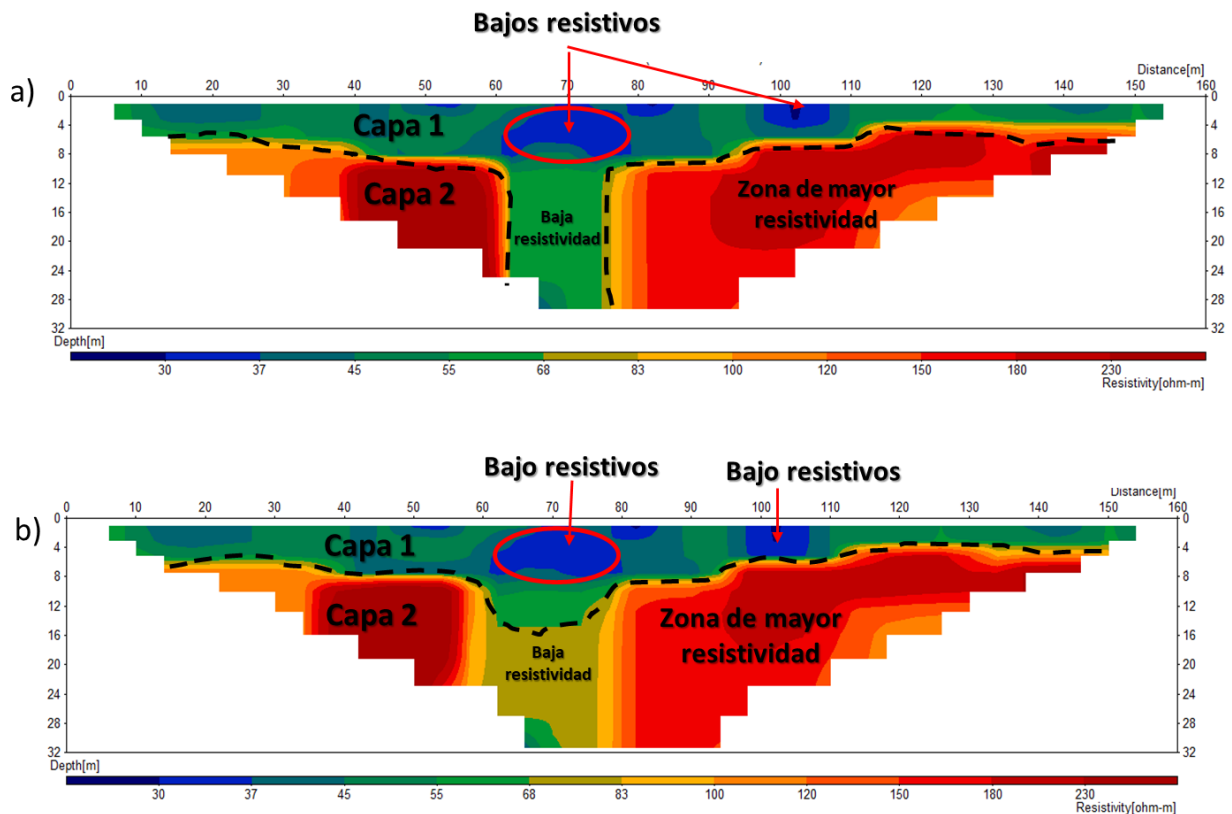
**Figura 5.45** Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES3\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ].

#### 5.4 Tomografía eléctrica de resistividad RES4\_NS

La figura 5.46, muestra la conversión de datos de formato. INV a formatos. RHO, la cual se muestra equivalente para los dos métodos inversión por ende se realizó una descripción general, donde se indica dos capas con resistividades predominantes en la TER.

La capa 1 posee un rango de resistividades que va 37 a 68 [ $\Omega\text{m}$ ], en el centro de la capa se observa un cuerpo esferoidal de menor resistividad de un espesor de 4 m y una extensión de 20 m aproximadamente, igualmente en su lado derecho se observan cuerpos esferoidales de 10 a 5 m de extensión y con una resistividad equivalente de 30 [ $\Omega\text{m}$ ]; la capa 1 se distingue por poseer un rango de resistividad de 55 a 68 [ $\Omega\text{m}$ ], de 20 metros de apertura en superficie hasta una profundidad de 28 m.

La capa 2 posee un rango de resistividades mayor que parte de los 68 a un valor mayor de 230 [ $\Omega\text{m}$ ], esta capa es dividida por una baja resistividad perteneciente a la capa 1, la capa 2 se caracteriza por poseer cuerpos laterales de mayor resistividad.



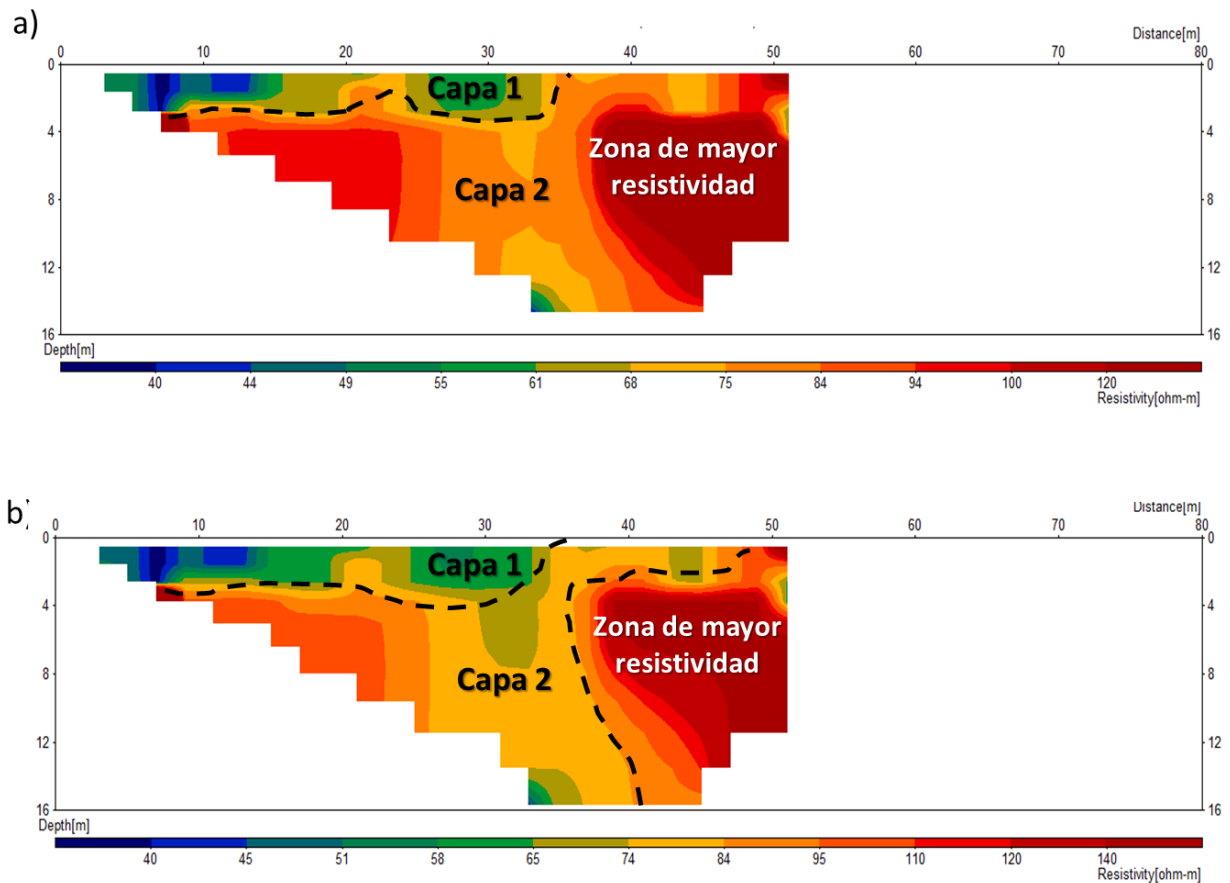
**Figura 5.46** Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES4\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ohm-m].

### 5.5 Tomografía eléctrica de resistividad RES5\_EO

La figura 5.47, muestra la conversión de datos en formato INV a formato RHO de cada uno de los métodos de inversión implementados, por la equivalencia geométrica y resistiva, se procedió a realizar una descripción conjunta.

En la pseudosección se identifica dos regiones resistividad dominantes, la primera región denominada capa 1 posee un rango de resistividades que van desde los 44 a 74 [ $\Omega$ m] con una profundidad aproximada de 3 m y una longitud de 30 m, la segunda región denominada capa 2, posee resistividades que van de 68 a 110 [ $\Omega$ m], esta capa se extiende desde los 3 m de profundidad hasta los 16 m en esta se delimita una zona de

mayor resistividad en su parte derecha con valores de 100 a 160 [ $\Omega\text{m}$ ] con un espesor aproximado de 8 m, sin definir un límite longitudinal por la ausencia de datos.



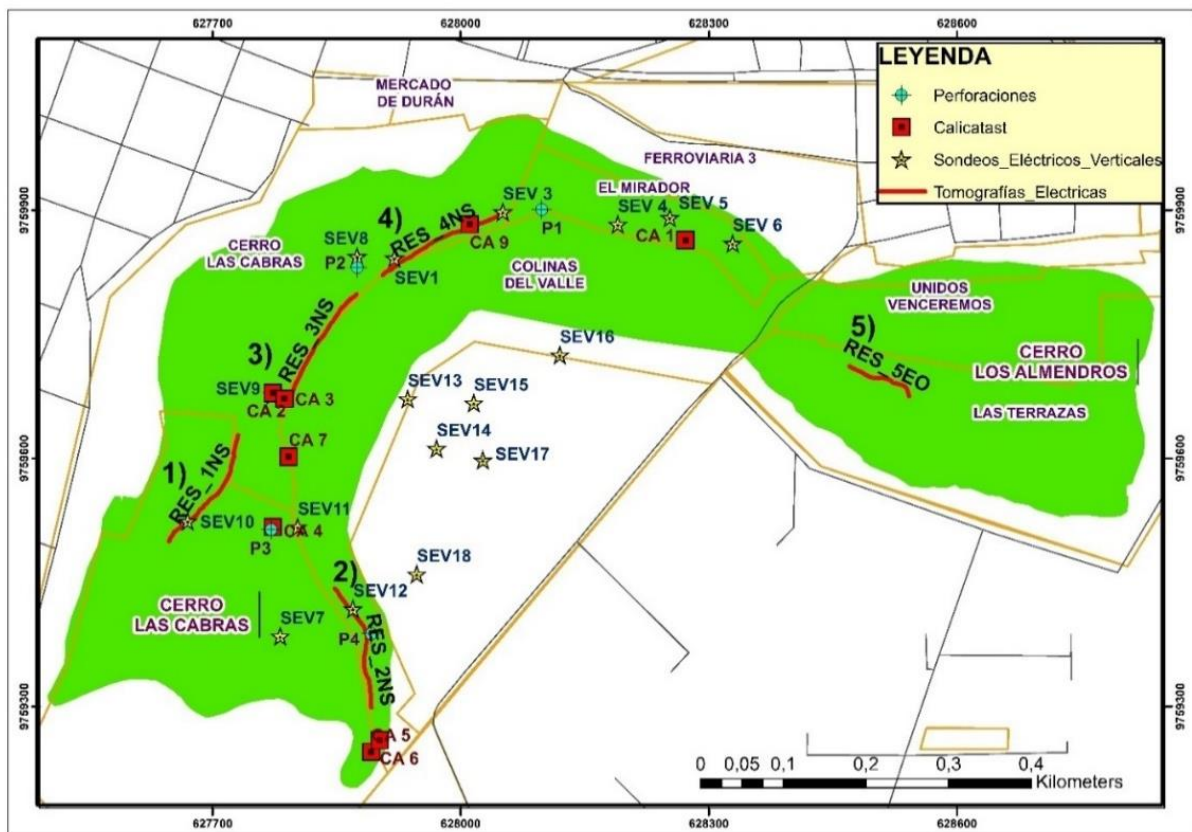
**Figura 5.47** Conversión de los modelos de inversión a modelo de resistividad en el software Erigraph. RES3\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. La leyenda vertical correspondiente a la profundidad se encuentra en unidad métrica (m), la leyenda horizontal corresponde a la resistividad y se encuentra en unidades de [ $\text{ohm}\cdot\text{m}$ ].

## 5.6 Correlación de datos directos e indirectos y generación de modelos geoelectricos

La correlación de datos se llevó exclusivamente en el cerro las Cabras, por la información disponible, se cuenta con datos levantados en campo en conjunto con el GAD de Durán y la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgo, y datos recolectados de proyectos anteriores del GAD de Durán en conjunto con ESPOL-TECH CIPAT.

Se cuenta con datos directos como: 8 calicatas y 4 perforaciones, y datos indirectos: 10 sondeos eléctricos verticales y 4 tomografías eléctricas. La datos de perforaciones, calicatas y sondeos eléctricos verticales fueron realizados por CIPAT en el 2014.

La correlación de los datos directos e indirectos se realizo en el software gratuito Erigraph, escogiendo aquellos datos que posean las mismas coordendas geográficas con respecto a línea de levantamiento de las tomografías eléctricas (Figura 5.48). Por tal razón, se seleccionaron las tomografías eléctricas de RES\_1 NS, RES\_2 NS y RES\_4 NS.

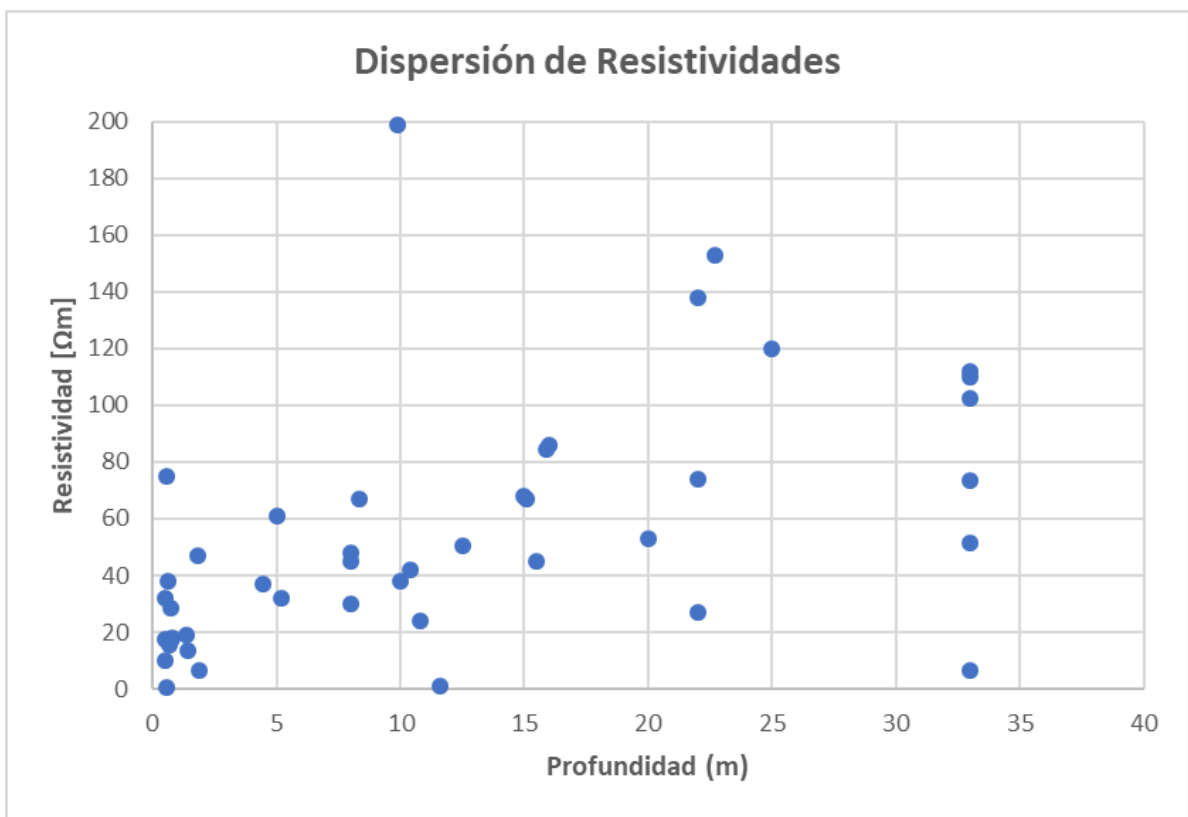


**Figura 5.48** Distribución espacial de datos directos e indirectos, en el Cerro “Las Cabras” y el cerro “San Enrique”. 1) RES 1\_ NS, 2) RES 2\_ NS, RES 3\_ NS, 4) RES 4\_ NS y 5) RES5\_ EO.

Con los datos recopilados y obtenidos en campo, se generó un diagrama de dispersión de resistividades versus profundidades (Figura 5.49) y se sintetizó la litología intepretada por CITAP. Con el objetivo de generar unidades geoelectricas (UGE), que se definen

como unidades con valores homogéneos de medios conductivos de electricidad y construir modelos geoelectricos del subsuelo.

Para sintetizar las litologías interpretadas por CITAP se generó el diagrama de dispersión de resistividades [ohm] versus profundidad (m) de los valores obtenidos de los sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados por ESPOL-TECH CIPAT (Figura 5.49). Se editó los valores aberrantes para optimizar los resultados de la gráfica.



**Figura 5.49 Diagrama de dispersión de datos de profundidad versus resistividad, los puntos azules representa la relación de estos parámetros.**

Los datos geofísicos interpretados por el CIPAT se basan en valores y tabulaciones publicadas (Palacky, 1987) y (Sharma P., 1997). La clasificación de litológicas inferidas geofísicamente (Tabla 5.3) relacionan la resistividad y la profundidad aproximada homogenizando los datos.

**Tabla 5.3 Clase de litológicas interpretadas por CITAP en el 2014.**

<b>Litologías</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Resistividad [<math>\Omega</math>m]</b>	<b>Profundidad Aprox. (m)</b>
Suelo	0.5- 30.5	0.5-1.4
Coluvión	15-45	0.7-1.9
Lutita	30.5-50.5	5-15
Arenisca Tipo II	50.5-85.5	8-23
Arenisca Tipo I	> 85.5	> 23

De acuerdo con la tabla 5.3 y la figura 5.49, se realizó la correlación de resistividades con las litologías presentes en el área de estudio, generando tres unidades geoelectricas diferenciadas, las cuales permitieron generar modelos geoelectricos de la zona.

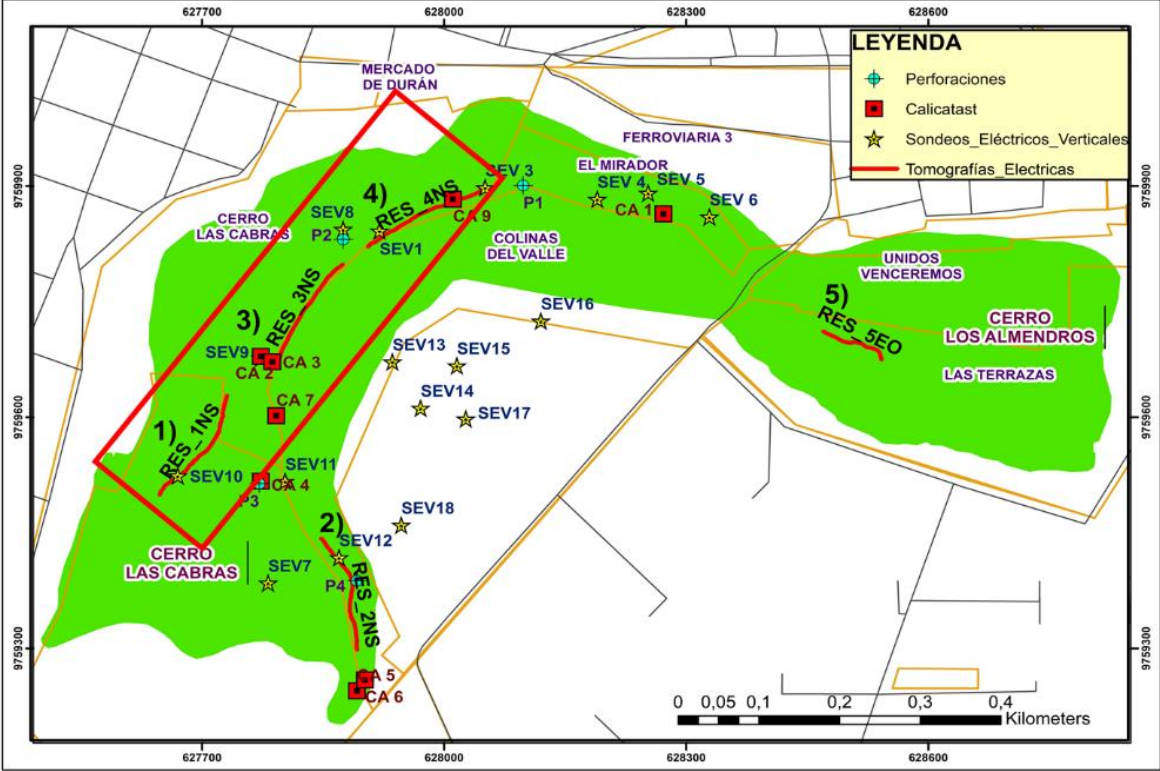
**Tabla 5.4 Unidades geoelectricas (UGE) según litologías inferidas geofísicamente.**

<b>Unidades geoelectricas</b>		
<b>Código</b>	<b>Resistividad [<math>\Omega</math>m]</b>	<b>Descripción</b>
UGE 1	20-40	Lutita
UGE 2	40-80	Arenisca Fina
UGE 3	> 140	Arenisca Gruesa

Las unidades geoelectricas (Tabla 5.4) muestra las litologías inferidas geofísicamente, la unidad geoelectrica de lutita (UGE 1) posee rango resistivo de 20-40 [ $\Omega$ m] a profundidades de 5 y 10 m, para resistividades mayores se observa dispersión del valor de resistividades (Figura 5.49) que comienza a los 40 [ $\Omega$ m] hasta 80 [ $\Omega$ m] representando a la unidad geoelectrica de arenisca gruesa (UGE 2), llegando a profundidades de hasta los 5 y 20 m aproximadamente. Los valores mayores de profundidad y resistividad poseen un rango variable que alcanza valores de 0-140 [ $\Omega$ m] y representan a la unidad geoelectrica de arenisca gruesa (UGE 3).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la correlación de datos directos e indirectos con respecto a las resistividades de las tomografías eléctricas, y la descripción de los modelos geoelectricos generados de la interpretación de la litología y la existencia de alguna estructura geológica presente:

En la figura 5.51, se realizó la correlación de tres tomografías eléctricas RES1\_NS, RES3\_NS y RES4\_NS (Figura 5.50), que se encuentran ubicadas de manera consecutiva en el cerro “Las Cabras” separadas por medidas longitudinales diferentes con esto se generó un modelo geoelectrico de acuerdo con las características de cada TER; en la parte norte de la correlación correspondiente al suroeste del cerro “Las Cabras” se observa lutita hasta los 8 m de profundidad con valores de resistividad menores a los 40 [ $\Omega$ m], subyacente a esto se interpreta una unidad geoelectrica de arenisca fina con valores de resistividad de entre 40-80 [ $\Omega$ m] que se extiende a lo largo de la correlación que va de norte a sur en el cerro, como base del modelo se interpretó una unidad geoelectrica de arenisca gruesa con valores de resistividad que van de 80 a 240 [ $\Omega$ m] de profundidad variable, que se extiende de norte a sur con una longitud de 590 m. En la sección sur de la tomografía eléctrica a una distancia horizontal de 510 m desde el norte se observa un cuerpo tubular que se extiende en profundidad desde la unidad de arenisca fina hasta base, esta zona se interpretó como una falla ?



**Figura 5.50 Tomografías eléctricas ubicadas en el cerro “Las Cabras”, identificadas en el rectángulo rojo.**



La figura 5.52, se realizó la correlación de la RES2\_NS con la SEV\_12 y la P\_4 pertenecientes a la parte sureste del cerro, en la cual se interpretaron dos unidades geoelectricas, en base se interpreta arenisca gruesa con resistividad mayores de 86 hasta los 1700 [ $\Omega$ m], partiendo de una profundidad de ente 10 y 20 metros, subyacente a esta unidad se observa lutita de espesor variable con valores de resistividad de 12-86 [ $\Omega$ m]; a los 45 metros de longitud aproximadamente de la RES se observa una forma tabular de la unidad superior que atraviesa a la inferior, además se observa una depresión de resistividad de 80 a 100 metros de longitud, teniendo 20 metros de apertura.

En la figura 5.53, perteneciente a el cerro “Los Almendros”, se interpretaron dos unidades geoelectricas la primera de ellas alcanza una profundidad de 4 m con resistividades de hasta 61 [ $\Omega$ m], la segunda capa posee resistividades que van de 61 a 120 [ $\Omega$ m] que se extiende hasta los 16 m de profundidad.

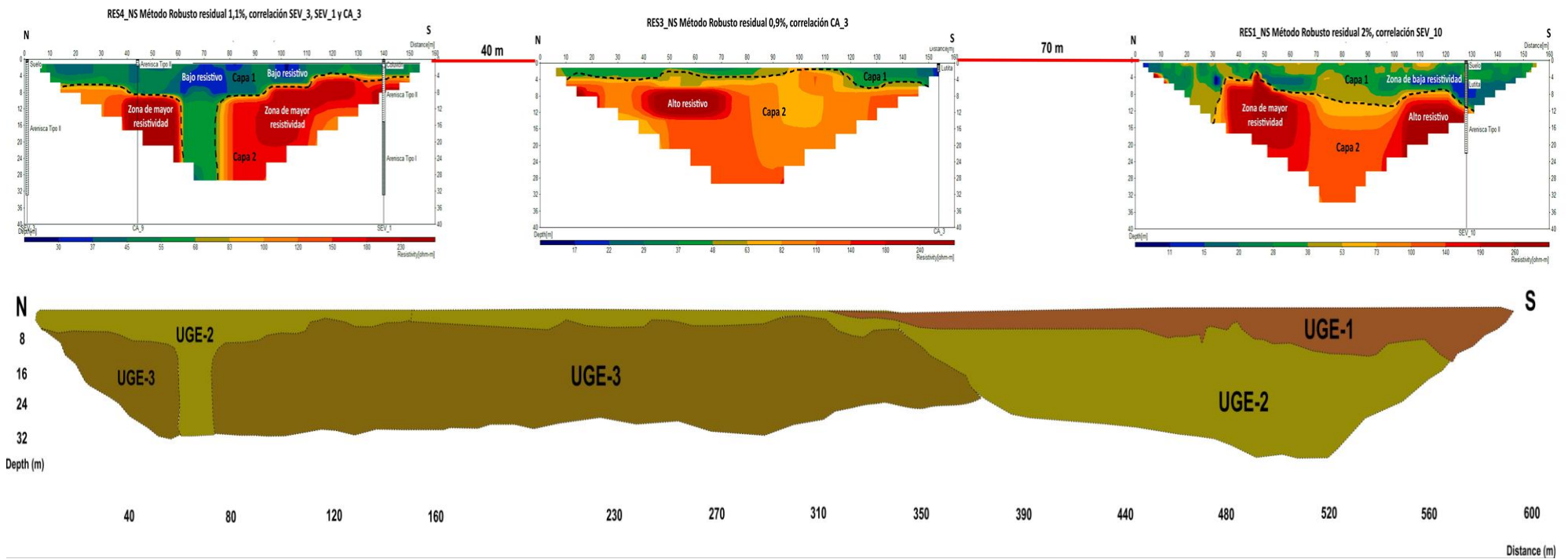
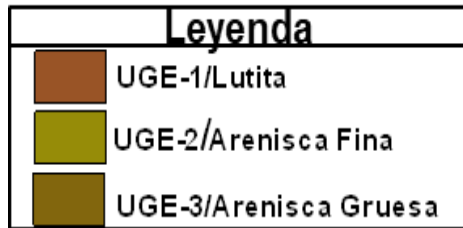


Figura 5.51 Interpretación de la RES\_1NS, RES\_3NS y RES\_4 NS correlacionada con datos geofísicos directos e indirectos, literal a) Modelo de resistividades en 2D y literal b) Modelo de unidades geoelectricas. (Unidades geoelectricas).

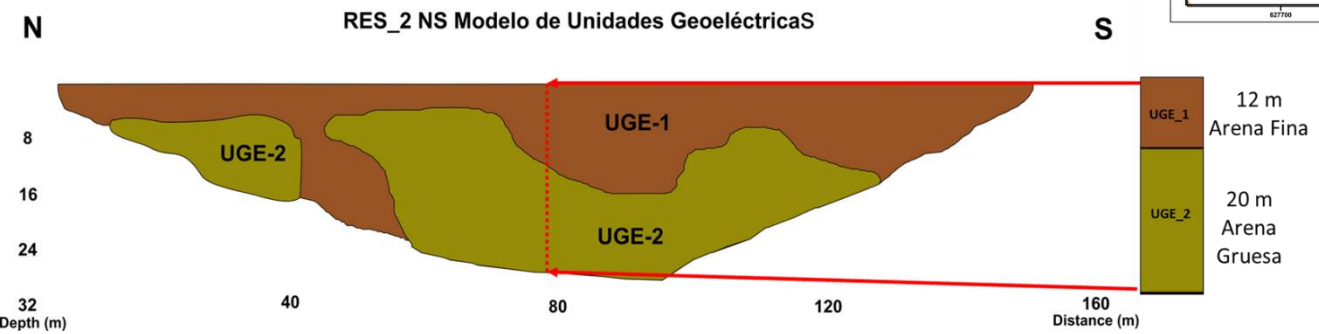
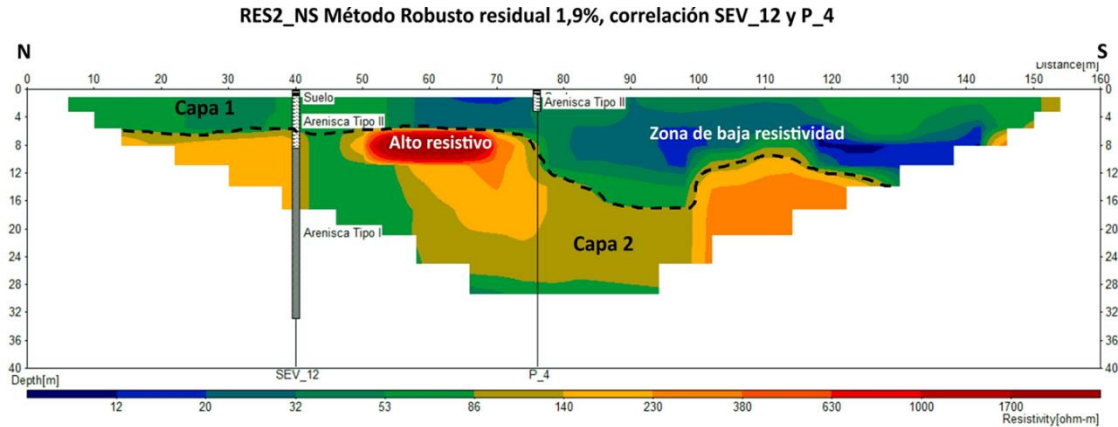


Figura 5.52 Interpretación de la RES\_2NS, literal a) Modelo de resistividades en 2D con correlación del SEV\_12 y P\_4, literal b) Modelo de unidades geoelectricas, c) Columna litologica interpretada en el centro a los 60 m de apertura, y ubicacion espacial de la RES2\_NS, en el electrodo 10 se ubica el SEV\_12 y en electrodo 19 se ubica la P\_4. (Unidades geoelectricas)

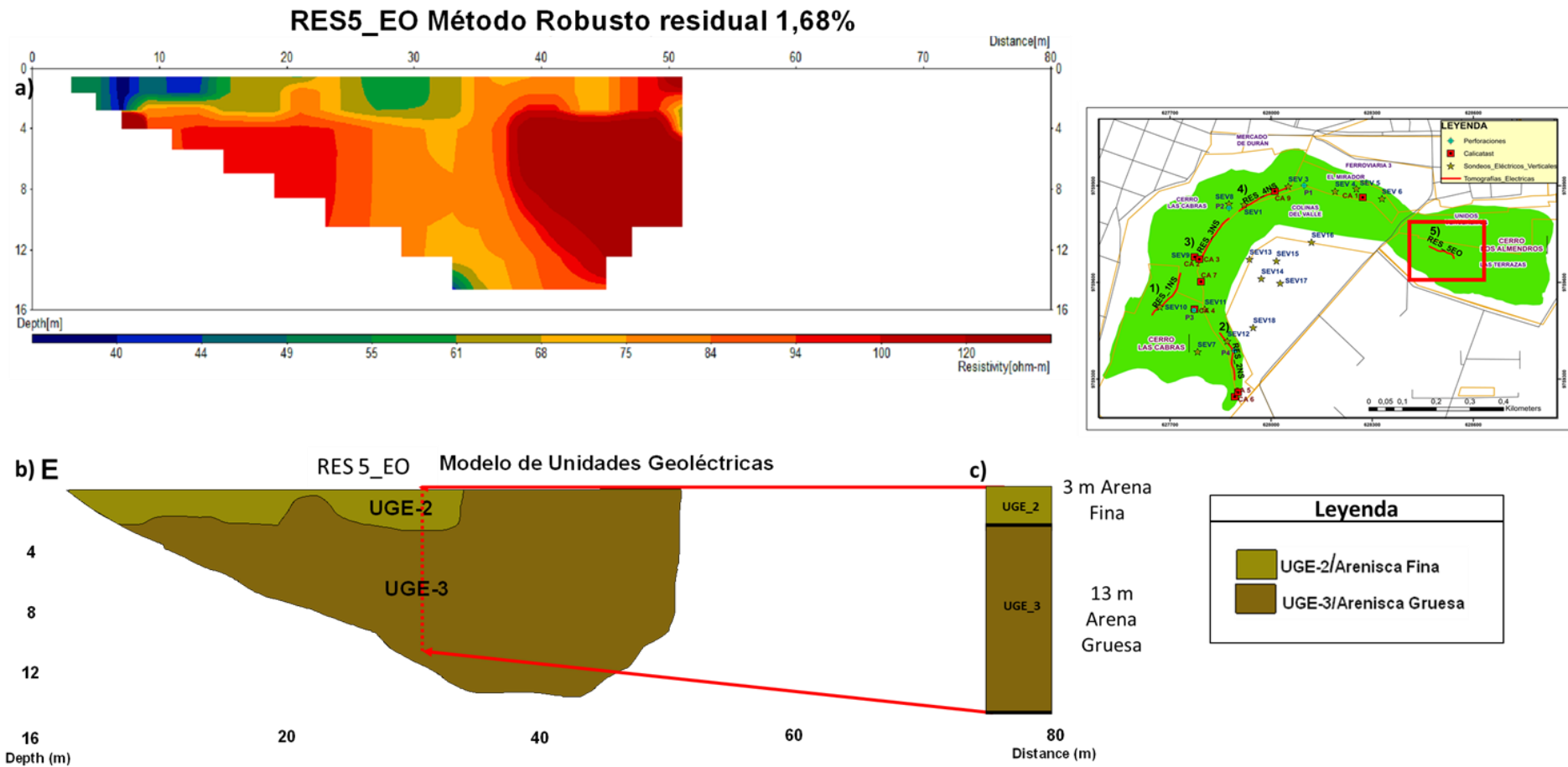


Figura 5.53 Interpretación de la RES\_5NS, literal a) Modelo de resistividades en 2D sin correlación, literal b) Modelo de unidades geoelectricas, c) Columna litológica interpretada en el centro a los 60 m de apertura, y ubicación espacial de la RES5\_EO. (Unidades geoelectricas)

# CAPÍTULO 6

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN: GEOMECÁNICA

### 6.1 Variable primaria- unidades geomecánicas

Para la construcción de las unidades geomecánicas se requiere correlacionar cuatro parámetros: litoestratigráfico (Figura 4.41), geofísico (Figura 5.51, 5.52 y 5.53), geomorfológico y el cálculo del índice del Rock Mass Rating continuo (RMRb-C). Estos parámetros en conjunto proporcionan información sobre: las resistividades, la geomorfología, el índice de calidad de roca y los esfuerzos a los que ha sido sometida la roca. Esta información permite zonificar las rocas según sus características geomecánicas.

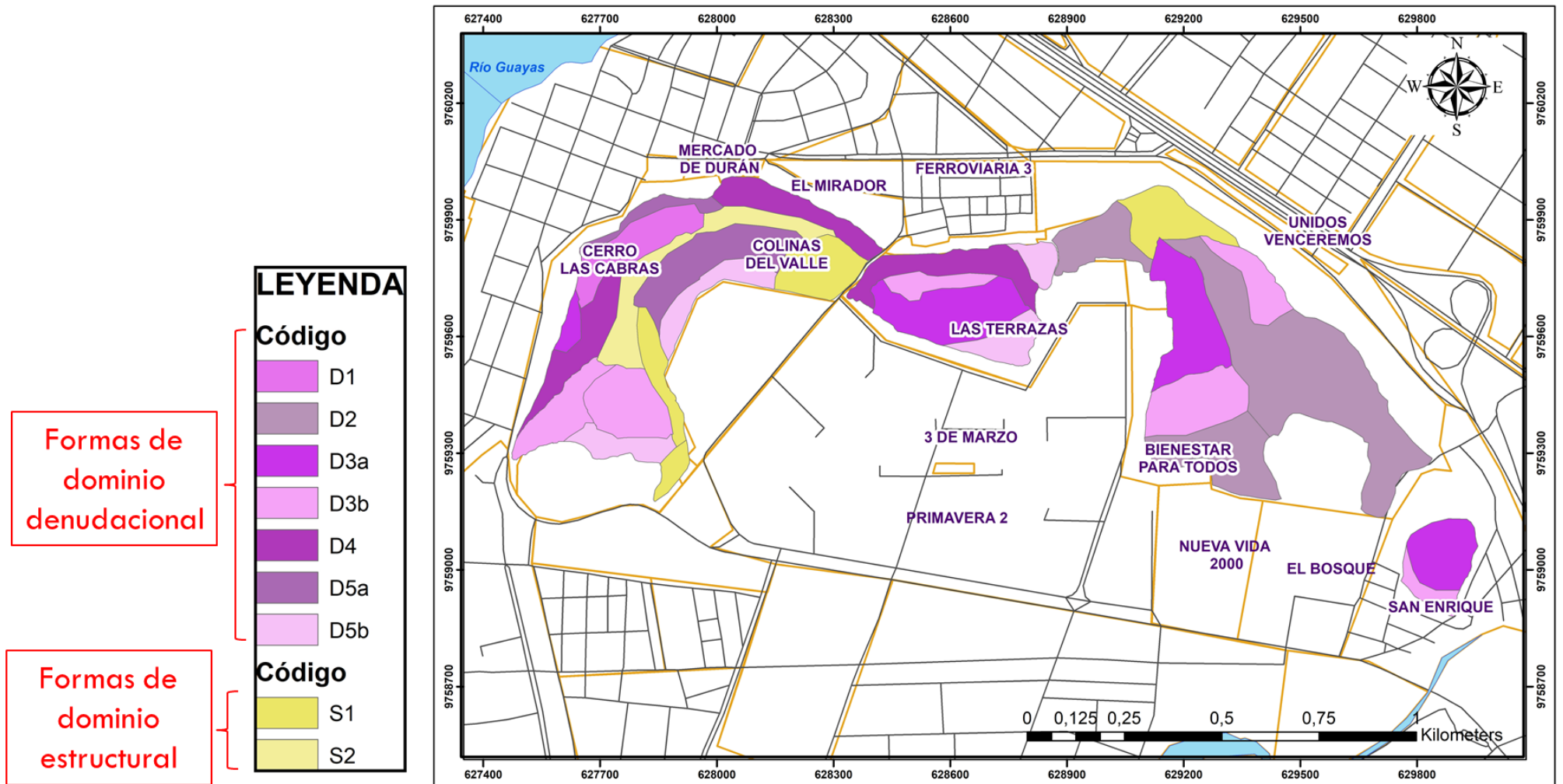
En el capítulo 4 y 5 se obtuvo el mapa litoestructural (Figura 4.41) y los modelos de unidades geoeléctricas (Figura 5.51, 5.52 y 5.53), a continuación en este capítulo se generará el mapa geomorfológico y el cálculo del índice del RMRb continuo, completando los parámetros para la superposición y posterior obtención del mapa de unidades geomecánicas.

#### 6.1.1 Tercer parámetro - mapa geomorfológico

El mapa geomorfológico del área de estudio se elaboró según la metodología propuesta por Van Zuidam, 1986 y Pedraza-Gilsanz, 1996; basada en el modelo digital de elevación reclasificado.

Realizando la superposición de los tres mapas (Anexos 9.5) obtenidos, se realizó la delimitación de unidades geomorfológicas según sus morfogénesis clasificadas de acuerdo con la propuesta de Van Zuidam (1986) (Figura 6.54).

A)



B)

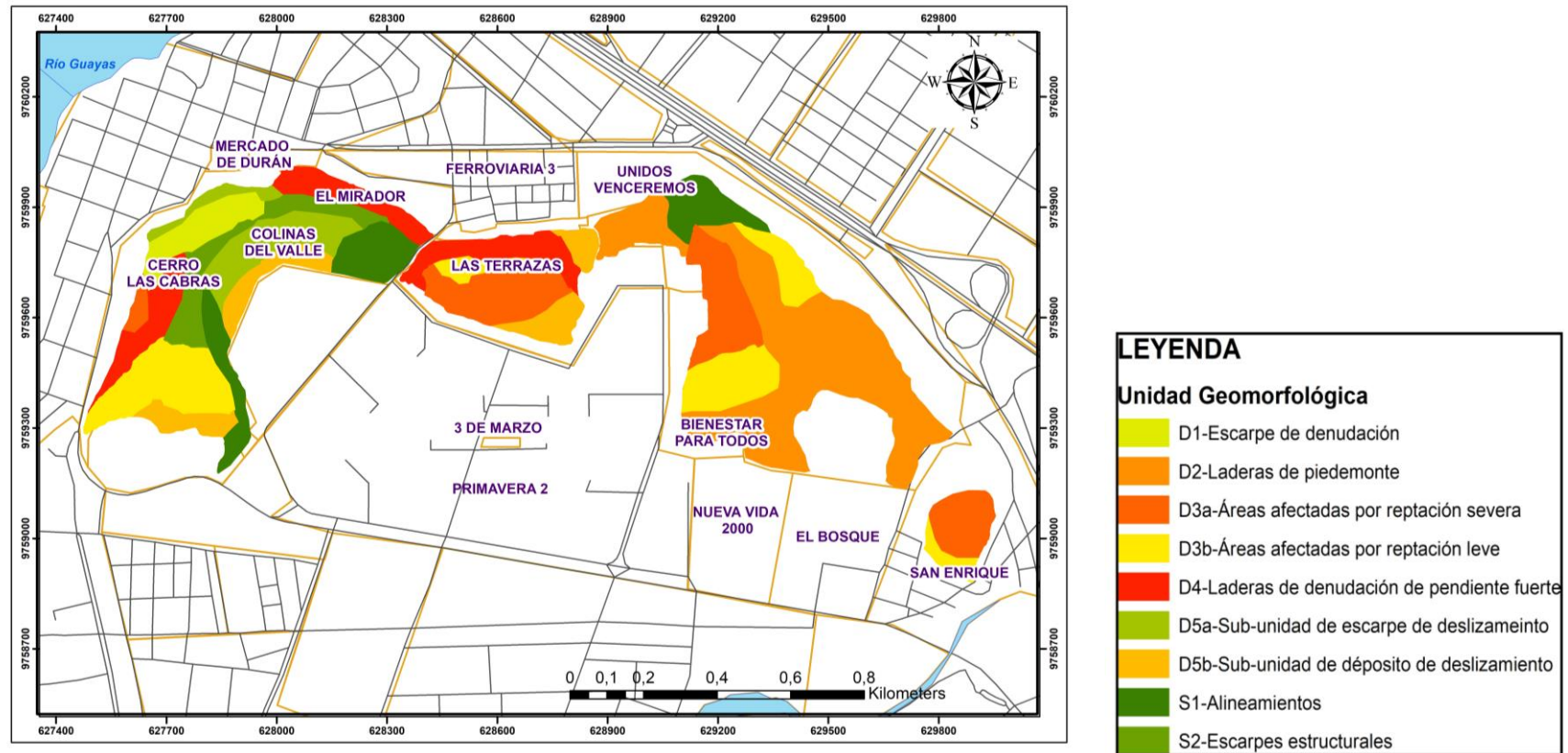


Figura 6.54 Mapa Geomorfológico de los cerros del casco urbano del cantón Durán utilizando la metodología de (Van Zuidam, 1986) y (Pedraza-Gilsanz, 1996). Las formas denudacionales (código D1 a D5, con sub-unidades) y formas estructurales (código S1 y S2). Literal A) y Literal B).

El área fue dividida en siete unidades principales, en las que predominan por las formas de origen denudacional (códigos D1 a D5), que abarcan el 70% del área de estudio. El 30% restante corresponde con formas de origen estructural (códigos S1 y S2). Cada una de estas unidades (Figura 6.54) se describe a continuación:

## **Formas de denudación**

### **D1- Escarpes de denudación**

Corresponde aproximadamente el 3% del área total y están ubicadas en diferentes sectores del área. La unidad con mayor área se encuentra en dirección noroeste del sector de Mercado de Durán; las unidades con menor área se ubican en el sector de las terrazas del cerro “Los Almendros” y en pequeñas áreas del suroeste del cerro “Del Tres”, estas unidades poseen pendientes superiores a los 45° de inclinación. (Figura 6.54)

### **D2- Laderas de piedemonte**

Abarcan aproximadamente un 2% del área, y se caracterizan por un relieve irregular con abultamientos. Son laderas con pendientes menores a los 12° y con escasa disección, formadas por acumulaciones de derrubios de colinas denudacionales ubicadas a su alrededor, que están sometidas a intensos procesos de erosión, producto de pendientes altas, de una litología meteorizada, de periodos de precipitación intensa, y de la actividad sísmica. (Figura 6.54)

### **D3-Laderas de denudación de pendiente baja**

Corresponde aproximadamente al 15% del área total, se caracteriza por tener laderas cortas y una topografía con un relieve moderadamente ondulado, donde predominan las colinas de baja altura con planicies de poca extensión. (Figura 6.54)



### - **D3a- Áreas afectadas por reptación severa**

Corresponde aproximadamente el 10% del área, ubicada en la zona sur del cerro “Las Cabras” en los alrededores de los sectores de Colinas del Valle, cuenta con pendientes entre los 6° hasta los 20°, presenta procesos de erosión intensa caracterizadas por reptaciones y caídas de bloques. Estos procesos pueden estar relacionados a las características litológicas de lutitas y areniscas con una alta tasa de meteorización relacionado a cambios en el uso de la tierra. (Figura 6.54)

### - **D3b- Áreas afectadas por reptación leve**

Esta unidad se encuentra al suroeste del cerro “Los Almendros” en los alrededores del sector Bienestar para Todos, se distingue de la morfología de sus alrededores por las pendientes bajas, desde los 0° hasta los 6° aproximadamente corresponde al 5% del área total. (Figura 6.54)

### **D4- Laderas de denudación de pendiente fuerte**

Aproximadamente el 20% del área se caracteriza por sus pendientes mayores a 45°, laderas cortas, identificadas en el cerro “Las Cabras” en los sectores de Colinas del Valle en su parte sur, en la sección norte y noroeste cercanos a los sectores del Mercado de Durán, Cerro Las Cabras y el Mirador, en la parte norte del cerro “Los Almendros” en el sector de Las terrazas y la sección noreste del cerro “Del Tres” cercano al sector de Unidos Venceremos. En la zona de cantera se observan cambios bruscos de pendiente por la alteración del terreno. (Figura 54)

## **D5- Áreas severamente afectadas por movimientos en masa**

A pesar de que, en general, toda el área de estudio está afectada por movimientos en masa, se han identificado áreas más críticas, que corresponden al 30% del área total. Se localizan en los sectores del Mirador, Colinas de Durán y las Terrazas; los dos primeros sectores mencionados corresponde a el cerro “Las Cabras” y el siguiente corresponde a el cerro “Los Almendros”. (Figura 6.54)

Son áreas que se caracterizan por bloques de terreno fracturados a causa de flujos de detritos, caída de rocas y movimientos complejos. Debido a las características morfológicas del terreno son mas comunes los eventos de caídas de rocas en zonas de pendientes mayores a los 20° y los flujos de detritos en pendientes desde 12° a 20°, sin embargo, estos pudrían estar relacionados al cambio del uso del suelo, ya que las características litológicas y geofísicas presentes en estas unidades la categorizan como roca fracturada que producen suelos residuales de espesor variable, con contenido arenoso llegando a ser inestable en presencia del agua. (Figura 6.54)

Dentro de esta unidad se distinguen dos subunidades que se describen de forma independiente:

### **- D5a- Sub-unidad de escarpes de deslizamientos**

Esta sub-unidad abarca el 15% del área aproximadamente. Está conformada por escarpes laterales de los deslizamientos principales, en general poseen pendientes de 30° a 45°, ubicados en laderas cortas en direcciones norte, noroeste, noreste y sureste de los cerros, concentrándose en los sectores como: cerro las cabras, colinas del valle, el mirador, las terrazas y unidos venceremos. Estas áreas son inestables con respecto a otras unidades, por tal razón es común identificar rasgos de reptación y deslizamientos.

### **- D5b-Sub-unidad de depósitos de deslizamientos**

Estas subunidades de depósitos de deslizamientos se agrupan en el sector noreste del cerro “Los Almendros”, y en los flancos noroeste y norte del cerro “Las Cabras”. No están relacionados con un tipo de pendiente específico.

## **Forma de origen estructural**

### **S1-Alineamientos**

Existen cuatro lineamientos locales (Figura 5.49), la Falla 1 se ubica en el sector sureste del sector de colinas del valle con dirección DIPDIR 150/DIR 20 en la unidad de lutita, la Falla 2 se ubica en la zona norte del sector unidos venceremos con direcciones DIPDIR 205/DIR 22 en la unidad de brecha, la Falla 3 posee dirección DIPDIR 290/DIR 80 se extiende de norte a sur en el centro del cerro “Las Cabras” cruzando los sectores de colinas del valle y cerro las cabras el último lineamiento en las unidades litológicas de arenisca gruesa, arenisca fina y brecha, la Falla 4 se ubica al norte del cerro “Los Almendros” correspondiente al sur del sector Ferroviaria con dirección DIPDIR 170/DIR 25 en la unidad de brecha.

Estas fallas locales condicionan a los cerros en dos alineamientos generales en dirección suroeste del cerro “Las Cabras” y dirección sureste del cerro “Del Tres”, relacionado a la cordillera Chongón Colonche que posee orientación NNW-SSE.

### **S2- Escarpes estructurales**

Esta unidad se diferenció principalmente por la inclinación de las pendientes, que oscilan desde los 0° a mayores de 45°, con orientación de laderas en noreste con valores (278-319) en los sectores del cerro las cabras, colinas del valle, las terrazas y unidos venceremos abarcando un 15% del área total y con la frecuencia de direcciones sureste (144-175) de pendientes que parten de 6° a 20°.

### 6.1.2 Cuarto Parámetro- Índice rock mass rating básico continuo (RMRb-C)

Para el cuarto parámetro, se utilizó la metodología propuesta por Sen & Sadagah, 2003, el cual toma cinco parámetros descritos en el apartado 3.2.3 Geomecánica, Capítulo 3- metodología. La resistencia de compresión simple continua de cada unidad litológica ( $\sigma_c$ ) se calculó utilizando el martillo de Schmidt tipo L, y los resultados se muestran en la (Tabla 6.5)

**Tabla 6.5 Resistencia a la compresión simple de muestras tipo para cada litología. Las muestras se codifican con las iniciales del tipo de litología Arenisca Gruesa (AG), Arenisca Fina (AF), Lutita (L), Arenisca-Lutita (AL), Brecha-Arenisca (BA) seguido de - Durán**

<b>Código de la Muestra</b>	<b>Litología</b>	<b>Peso específico (KN/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\sigma_c</math> (Mpa)</b>
AG-Durán	Arenisca Gruesa	24.50	37.86
BA- Durán	Brecha-Arenisca	28.00	45.76
AF- Durán	Arenisca Fina	21.00	26.28
AL- Durán	Arenisca-Lutita	20.00	33.20
BL- Durán	Brecha-Lutita	23.50	34.80
L- Durán	Lutita	27.00	82.97

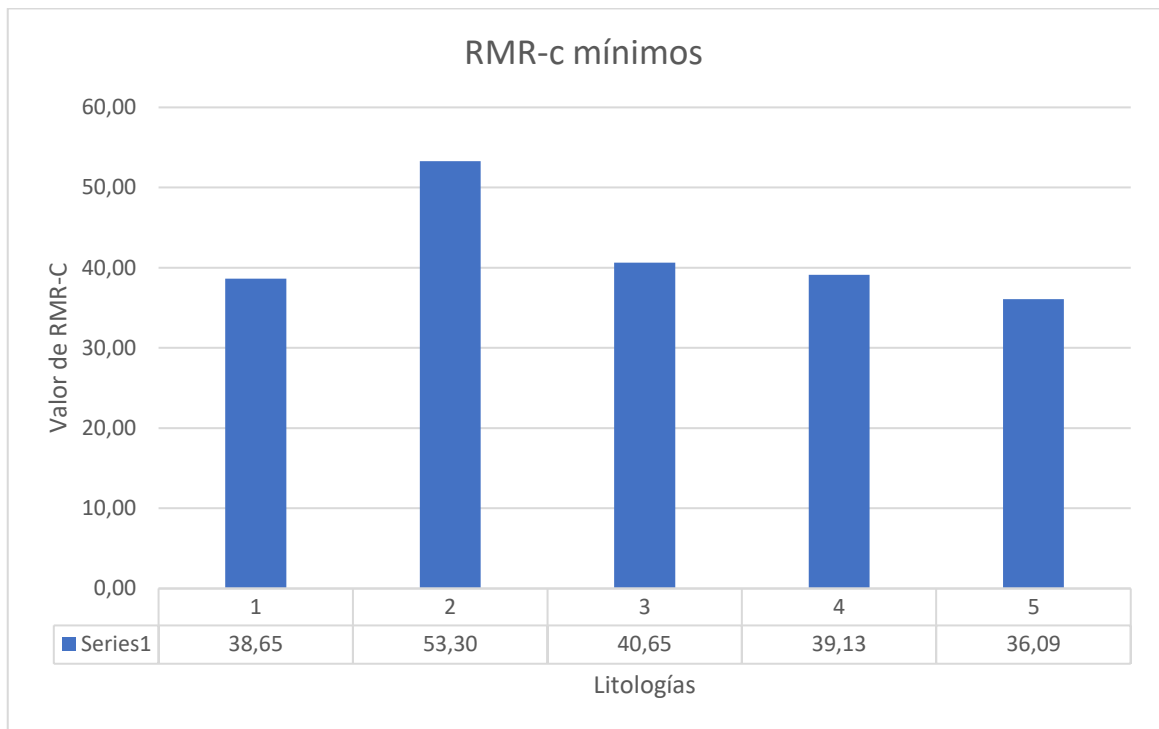
Se levantón 24 fichas geomecánicas para las cinco unidades litológicas: Arenisca Gruesa (AG), Arenisca Fina (AF), Lutita (L), Arenisca-Lutita (AL), Brecha-Arenisca (B-A) la tabla 6.6 resume los valores obtenidos para cada estación geomecánica en cuanto a los parámetros de RMR-C antes descritos. Las fichas se encuentran en el Anexo 9.6.

Se analiza los valores obtenidos de los parámetros del RMR-C de cada una de las fichas geomecánicas con respecto a su litología, con el objetivo de seleccionar los valores menores de cada unidad litológica para analizar el peor escenario de la calidad de roca.

**Tabla 6.6 Valores obtenidos de los parámetros del RMR-C de cada una de las fichas geomecánicas. La litología se codifica con las iniciales: Arenisca Gruesa (AG), Arenisca Fina (AF), Lutita (L), Arenisca-Lutita (AL), Brecha-Arenisca (BA). Las fichas geomecánica se codifica con (EG) seguido de – con el número de ficha levantada**

Nombre	Litología	r RQD	$r\dot{x}$	$r\sigma$	r G	rJ	RMRb
EG-6	AG	4.63	10.29	1.24	5.49	17.00	38.65
EG-7	AG	18.45	25.88	0.78	5.49	22.00	72.60
EG-10	AG	5.61	10.94	1.16	5.49	20.00	43.20
EG-11	AG	11.23	14.75	0.99	5.49	18.00	50.46
EG-23	AG	17.77	23.57	0.81	5.49	13.00	60.65
EG-24	AG	13.42	16.68	0.89	5.49	13.00	49.48
EG-13	BA	11.74	15.17	0.90	5.49	13.00	53.30
EG-1	AF	8.43	12.75	0.97	5.49	20.00	40.65
EG-3	AF	15.90	19.71	0.83	5.49	13.00	56.93
EG-12	AF	16.61	20.91	0.87	5.49	15.00	56.87
EG-2	AL	12.90	16.17	0.97	5.49	13.00	47.53
EG-4	AL	13.74	17.00	0.93	5.49	12.00	49.17
EG-5	AL	3.15	9.24	1.25	5.49	12.00	39.13
EG-8	AL	16.65	20.99	0.81	5.49	20.00	62.94
EG-21	AL	16.64	20.97	0.88	5.49	5.00	56.98
EG-20	AL	16.14	20.10	0.92	5.49	13.00	55.65
EG-9	AL	12.13	15.49	0.95	5.49	19.00	42.07
EG-14	L	9.67	13.60	1.05	5.49	13.00	38.81
EG-15	L	14.34	17.65	0.95	5.49	13.00	48.44
EG-16	L	5.59	10.92	1.09	5.49	8.00	36.09
EG-17	L	17.46	22.75	0.82	5.49	9.00	51.52
EG-18	L	8.47	12.78	1.03	5.49	10.00	36.78
EG-19	L	13.33	16.59	0.86	5.49	13.00	49.27
EG-22	L	17.96	24.14	0.80	5.49	9.00	61.40

En la figura 6.55, se muestran los valores menores del RMR-C de cada litología, se seleccionó estos valores, con el fin de evaluar la calidad geomecánica de la roca de los cerros con el peor escenario de susceptibilidad presente en los cerros.



**Figura 6.55 Valores mínimos de RMR básico continuo seleccionados de cada unidad litológica presente en el área de estudio. Arenisca Gruesa (1), Brecha-Arenisca y Brecha-Lutita (2), Arenisca Fina (3), Arenisca-Lutita (4), Lutita (5)**

El índice de Rock Mass Rating Continue (RMR-c) mínimos de cada litología fue seleccionado para analizar el peor escenario: Lutita con índice de 36.09, Arenisca-Lutita con 39.13 y Arenisca Gruesa 38.65, todos estos descritos con calidad de roca regular de clase IV mala, Arenisca Fina con 40.65, Brecha-Lutita y Brecha-Arenisca con 53.30 cercano a la calidad de roca regular de clase III (Figura 6.55). Se generó un modelo con los valores mínimos de RMR básico continuo para visualizar el peor escenario (figura 6.62).

La superposición de los cuatro parámetros se realizó en SIG, se construyó un shapefile (.shp) de tipo polígono donde se almacenó la información referente a cada parámetro de acuerdo con el sector perteneciente (Figura 6.57). Con la correlación realizada la construcción se veintinueve unidades geomecánicas numeradas

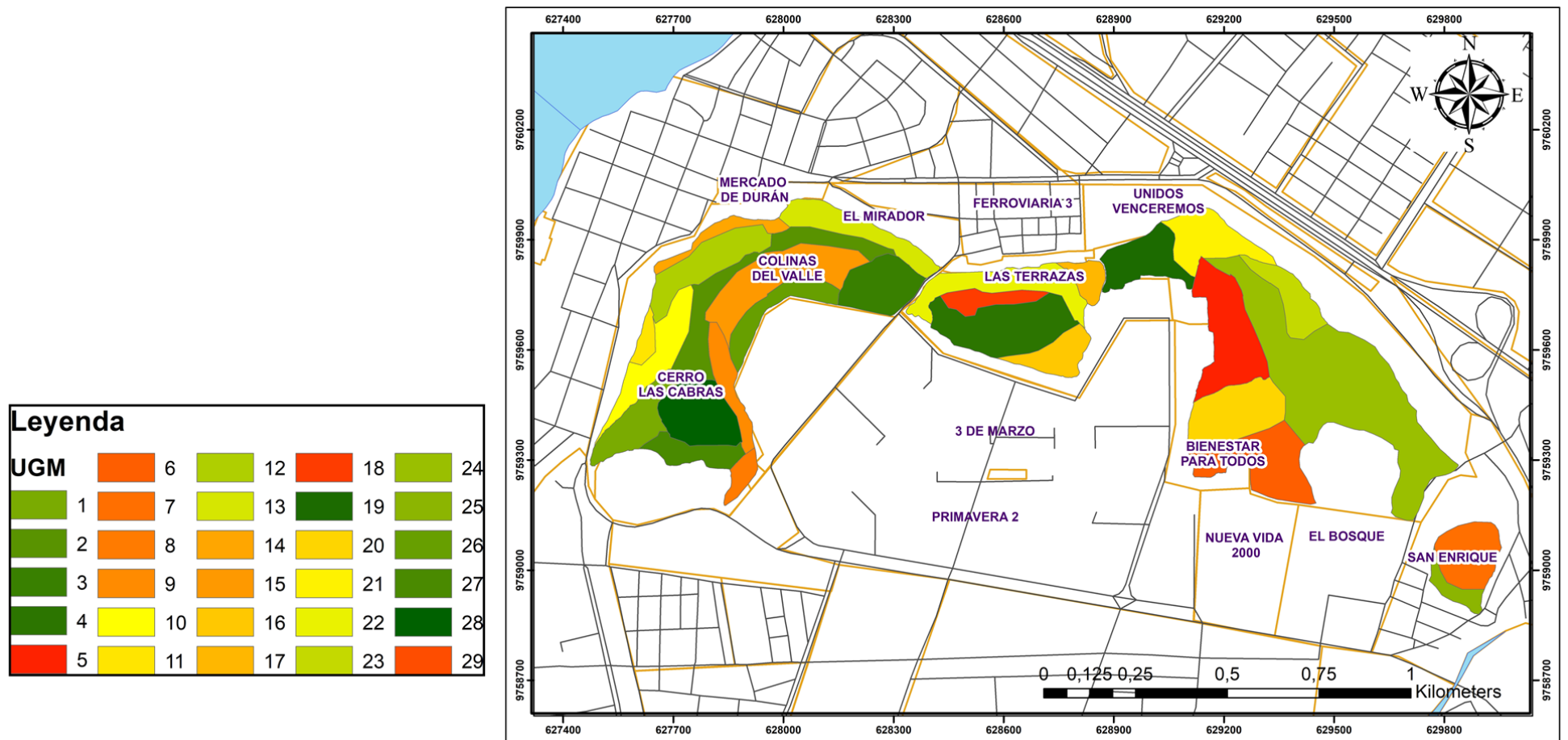
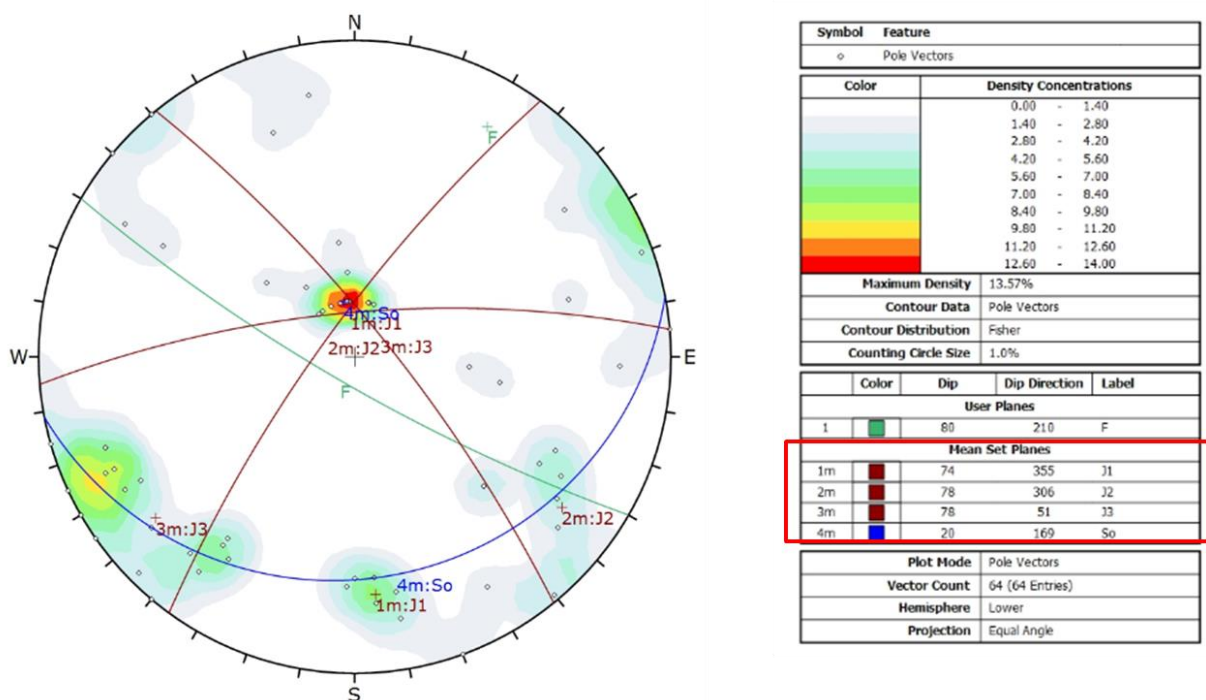


Figura 6.56 Unidades geomecánicas generadas con la correlación de los parámetros : litoestratigráfico, geofísico, geomorfológico y RMR-C, del área de estudio

## 6.2 Variable primaria- análisis cinemático de los cerros

Los 650 datos estructurales obtenidas en el levantamiento de campo por medio de las fichas geomecánicas, fueron cargados y analizados en el software gratuito Dips 6 de Rocscience.

El análisis cinemático de los cerros, inicio con la identificación de áreas en donde exista una concentración de polos de los planos estructurales levantados en campo. En la red estereográfica se identifico seis zonas de concentración de polos, variando de tonalidad blanco a rojo. (Figura 6.58)



**Figura 6.57 Análisis de discontinuidades presentes en el área de estudio, en la red estereográfica los planos de color rojo muestran juntas y el plano azul estratificación.**

Se dibujó cuatro planos estructurales que representan zonas de concentración de polos, diferenciando tres familias de juntas (codificadas J1, J2 y J3) y la estratificación (codificada con So). Las medidas estructurales se detallan a continuación (Tabla 6.7):



**Tabla 6.7 Planos generales establecidos**

Planos			
1 m	74	355	J1
2m	78	306	J2
3m	78	51	J3
4m	20	169	So
1	80	210	F

Ademas de las estructuras generales creadas, se incluyo la falla vista en campo con medida estructural 80/210.

### 6.3 Variable secundaria- cálculo y evaluación del índice del SMR-C

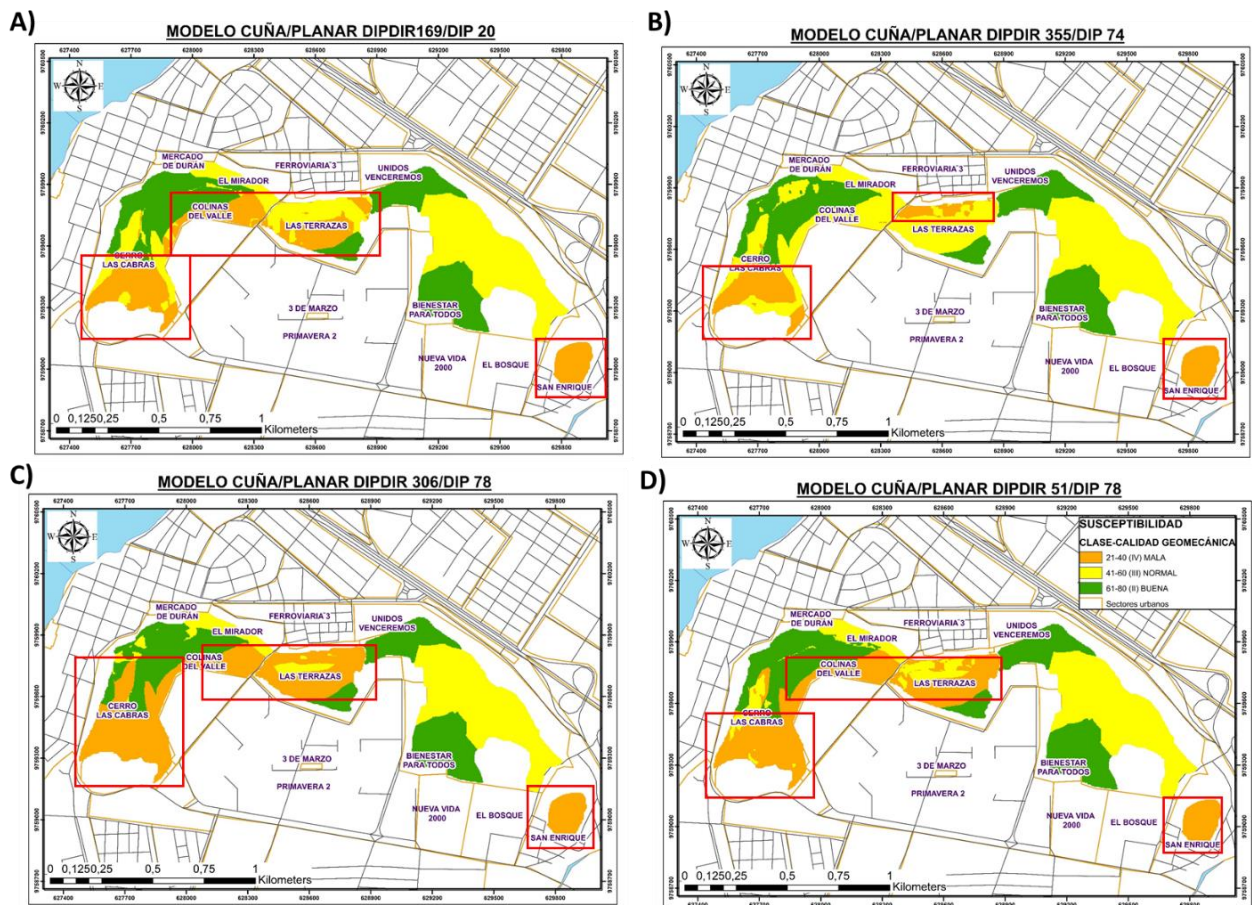
El SMR-C fue calculado para cada unidad geomecánica y para cada familia de discontinuidades presentes en el área de estudio, luego se categoriza el área de estudio en base a la propuesta por Romana (1985). (Tabla 6.8).

**Tabla 6.8 Clasificación del índice del SMR-C según Romana (1985).**

Clase	V	IV	III	II	I
<b>SMR</b>	0-20	21-40	41-40	61-80	81-100
<b>Descripción</b>	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy Buena
<b>Estabilidad</b>	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente Inestable	Estable	Totalmente Estable
<b>Roturas</b>	Grandes roturas por planos continuos o por la masa.	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
<b>Tratamiento</b>	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno
<b>Probabilidad de falla</b>	0.9	0.6	0.4	0.2	0

Previo al análisis SIG, se evalúa la estabilidad de cada mapa, utilizando los índices el cálculo del SMR-C (Tabla 6.8). Para ello se procedió a la reclasificación con la herramienta SIG, donde se asigna un valor a cada pixel por clase de estabilidad.

Los mapas generados con cada diagrama de flujo (Figura 6.28), arrojaron diferentes tipos de modelos de cuña/planar y de volcamiento para cada tipo de estructura. Estos modelos fueron categorizados en diferentes clases de acuerdo a su rango de valores obtenidos, a continuación se describen los modelos de cuña/planar:



**Figura 6.58 A) Modelo cuña/planar DipDir 169/Dip 20, B) Modelo cuña/planar DipDir 306/Dip 78. C) Modelo cuña/planar DipDir 51/Dip 78, D) Modelo cuña/planar DipDir 355/Dip 74. Los rectángulos rojos indican los sectores con calidad de roca mala**

**Modelo cuña/planar DipDir 169/Dip 20** (Figura 6.59, literal A)) distingue tres tipos de clases de estabilidad (IV, III y II), en la zona sureste del cerro “Las Cabras” correspondiente al sur y flanco sureste del sector de colinas de valles, la zona centrosur del cerro “Los Almendros” correspondiente al sector de las terrazas, y sector san enrique perteneciente al cerro “Del Tres” estas áreas poseen categoría de clase IV (mala). La zona de clase III (normal) en el cerro “Las Cabras” se ubica en los sectores urbanos de mercado de Durán, sureste de colinas del valle y oeste del cerro las cabras y centro del cerro “Los Almendros” en el sector de las terrazas, y se presenta en la zona noroeste, sur y sureste del cerro “Del Tres” en los sectores de unidos venceremos y bienestar para todos. Las zonas de clase II (buena) se encuentran en varios sectores: centroeste del sector las cabras, al suroeste del sector de colinas del valle, correspondiente al cerro “Las Cabras”; en el sur del sector de las terrazas correspondiente a el cerro “Los Almendros” y en la sección norte y sureste correspondiente a el cerro denominado “Del Tres”.

**Modelo cuña/planar DipDir 355/Dip 74** (Figura 6.59, literal B)) se distingue tres tipos de clases de estabilidad (IV, III y II). La clase IV (mala) se observa al sur del cerro “Las Cabras” en el sector suroeste y sureste del sector de colinas del valle, al norte del sector de las terrazas correspondiente a el cerro “Los Almendros” y al sur de cerro “Del Tres” en el sector de san enrique. La clase III (normal) abarca los sectores del cerro las cabras, mercado de durán y el flanco noroeste del sector de colinas del valle del cerro “Las Cabras”; el flanco este, oeste y centro sur del cerro “Los Almendros” corresponde a el sector de las terrazas; y las zonas central “Del Tres” en los sectores de bienestar para todos. La clase II (buena) corresponde a varios sectores: flanco noreste del sector de colinas del valle, en el flanco oeste correspondiente al sectores de las cabras del cerro “Las Cabras”; al sur del cerro “Los Almendros” correspondiente al sector de las terrazas; y en la zona norte y suroeste del cerro “Del Tres” en la zona minada.

**Modelo cuña/planar DipDir 306/Dip 78** (Figura 6.59, literal C)) se distingue tres tipos de clases de estabilidad (IV, III y II). La clase IV (mala) corresponde al sector sur del cerro “Las Cabras”, al centro del cerro “Los Almendros” y el sur del cerro “Del Tres” en el sector san enrique. La clase III (normal) se observa en el noreste del sector mercado de durán, al centro del cerro “Los Almendros” centro del cerro “Del Tres” en los sectores de unidos venceremos, bienestar para todos. La clase II (buena) se observa en las

laderas noroeste, noreste y centro del cerro “Las Cabras” en los sectores cerro las cabras y colinas del valle; y en la zona noroeste y suroeste del cerro “Del Tres”.

**Modelo cuña/planar DipDir 51/Dip 78** (Figura 6.59, literal D)), se distingue tres tipos de clases de estabilidad (IV, III y II). La clase IV (mala) se observa en el sur del cerro “Las Cabras” y al noreste del cerro “Los Almendros” en el sector de las terrazas. La clase III (normal) se presenta en los laderas sur y noroeste del cerro las cabras correspondiente a los sectores de colinas de valle y cerros de Durán; en los flancos sur y norte del cerro “Los Almendros” en el sector de las terrazas; y la zona norte, suroeste y sur del cerro “Del Tres” correspondiente a los sectores de Unidos Venceremos, al norte de Bienestar para Todos y el sector de San Enrique. La clase II (buena) esta presenta en el sur y sureste del cerro “Las Cabras” correspondientes al sector del cerro las cabras y al noroeste del mercado de duran.

En la figura 6.59 muestra de forma comparativa los cuatro modelos cuña/planar de la zona de estudio, descritos en la parte superior. Analizando los modelos se identifican zonas categorizadas con la misma clase, los modelos presentan la clase IV que corresponde a roca de mala calidad en el sector sur de cerro “Las Cabras” y en la zona central del cerro los “Almendros” y la zona sur del cerro “Del Tres”, correspondiente a los sectores de colinas del valle, cerro las cabras, las terrazas y san enrique representando el 40% del área de estudio. La clase III con descripción de roca de calidad normal corresponde al 40% del área de estudio involucra los sectores de mercado de durán, unidos venceremos, bienestar para todos y el norte de las terrazas, los sectores restantes correspondientes a la clase II (buena) representan el 20% del área de estudio.

A continuación se realiza la descripción de los modelos de volcamiento obtenidos con cada una de las estructuras generales en estos se distingue tres tipos de clases de estabilidad (IV (Mala), III (Normal) y II (Buena)):

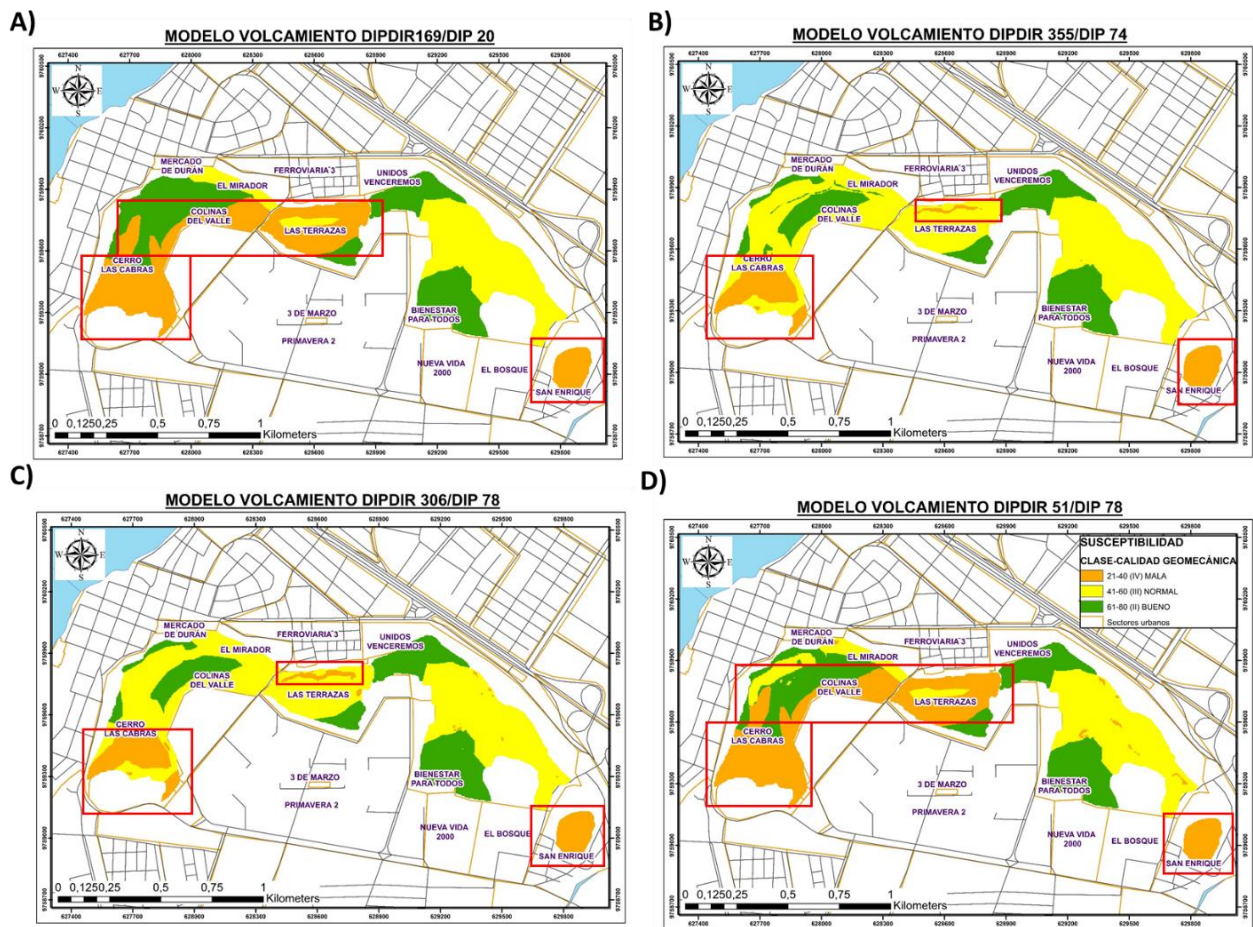


Figura 6.59 A) Modelo volcamiento DipDir 169/Dip 20, B) Modelo volcamiento DipDir 306/Dip 78. C) Modelo volcamiento DipDir 51/Dip 78, D) Modelo volcamiento DipDir 355/Dip 74. Los rectángulos rojos indican los sectores con calidad de roca mala.

**Modelo volcamiento DipDir 169/Dip 20** (Figura 6.60, literal A)) la clase IV descrita como roca con calidad mala se encuentra ubicada en el sector sur de colinas de valle y al noreste del sector las terrazas. La clase III (normal) se sitúa en la zona sur y noroeste del cerro “Las Cabras”, en los flancos del cerro “Los Almendros” y en la zona norte, suroeste y sur del cerro “Del Tres”, corresponde a los sectores del cerro las cabras, el sur del sector de colinas del valle, las terrazas, unidos venceremos, bienestar para todos y san enrique. La clase II (buena), corresponde a los sectores de colinas del valle y el mirador, la zona central del sector las terrazas y la zona correspondiente a la zona minada del cerro “Del Tres”.

**Modelo volcamiento DipDir 306/Dip 78** (Figura 6.60, literal B)) se encuentra categorizado en tres: clase IV (mala) corresponde a la zona sur del cerro “Las Cabras”, al sureste y el norte del cerro “Los Almendros” perteneciente a los sectores de colinas del valle y las terrazas. La clase III (normal) corresponde a los sectores del cerro las cabras, mercado de durán, flancos oestes del sector las terrazas, unidos venceremos, bienestar para todos y san enrique. La clase II (buena) corresponde a la zona central, oeste y noreste del cerro “Las Cabras”, la cima del cerro “Los Almendro” y la zona correspondiente al área de cantera en el cerro “Del Tres”.

**Modelo volcamiento DipDir 306/Dip 78** (Figura 6.60, literal C)) se encuentra categorizada en tres clases: La clase IV (mala) se presenta en la zona sur del cerro “Las Cabras” y la zona norte “Los Almendros”, y en la sección sur del cerro “Del Tres” estas corresponden a los sectores de colinas del valle, las terrazas y san enrique. La clase III (normal) corresponde a las laderas oestes y estes del cerro “Las Cabras”, laderas oestes, noreste y centro sur del cerro “Los Almendros”, al suroeste del cerro “Del Tres” pertenecen a los sectores del cerro las cabras, mercado de durán, el mirador, colinas del valle, las terrazas y el área de la cantera. La clase II (buena) se presenta en laderas oeste, noreste y centro del cerro “Las Cabras” la cima del cerro “Los Almendros” y la sección correspondiente al área de cantera en el cerro “Del Tres”.

**Modelo volcamiento DipDir 51/Dip 78** (Figura 6.60, literal D)) se encuentra categorizada en tres clases: clase IV (mala) corresponde a ladera sureste del cerro “Las Cabras”, noroeste y sureste del cerro “Los Almendros”, en los sectores de colinas del valle y las terrazas y san enrique. La clase III (normal) se presenta en laderas noroeste y este del cerro “Las Cabras”, la zona centro del cerro “Los Almendros”, al norte, suroeste y sur del cerro “Del Tres”, pertenecientes a los sectores del cerro las cabras, mercado de durán, La clase II (buena) correspondiente a las laderas centro, noreste y oeste del cerro “Las Cabras”, sureste del cerro “Los Almendros”, el sector norte de unidos venceremos y suroeste del cerro “Del Tres”.

En la figura 6.60 muestra de forma comparativa los cuatro modelos de volcamiento de la zona de estudio, descritos en la parte superior. Analizando los modelos se identifican zonas categorizadas con la misma clase. La clase IV correspondiente a roca de mala calidad corresponde al 30 % del área de estudio, distribuida en la zona sur del cerro “Las Cabras”, noroeste y sureste del cerro “Los Almendros”, la clase III descrita como roca de calidad normal se encuentra distribuida en los sectores de cerro las cabras, colinas del calle, mercado de durán las terrazas, unidos venceremos, bienestar para todos y en el cerro san enrique que corresponde al 50% del área de estudio. la clase II corresponde a roca de buena calidad , representa el 20% del área corresponde a los flancos noreste, sureste del cerro “Las Cabras”, cima del cerro “Los Almendros” y el área de cantera en el cerro “Del Tres”.

Posterior a la descripción y el análisis de cada uno de los modelos, se realizó la superposición de cada uno de ellos, con la finalidad de obtener el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa (Figura 6.61).

El mapa de susceptibilidad de movimientos en masa del área de estudio (Figura 6.61), se categorizó en tres clases de calidad geomecánica, de acuerdo con los Raster obtenidos de las unidades geomecánicas evaluados en los planos estructurales generales (Figura 6.59 y Figura 6.60). La clase IV descrita como roca de mala calidad se presenta al sur y centroeste del cerro “Las Cabras” y en la sección noreste y centrosur del cerro “Los Almendros”, correspondiente al sector de colinas del valle, las terrazas y san enrique, representa aproximadamente un 40% del área total. La clase III representa a rocas con calidad normal representa aproximadamente un 55% del área de estudio, presente en los sectores: mercado de durán, cerro las cabras, el mirador, sureste de los sectores de las terrazas, unidos venceremos, bienestar para todos. La clase II descrita como roca de buena calidad representa aproximadamente un 5% del área total y si ubica en el centroeste del sector de colinas del valle

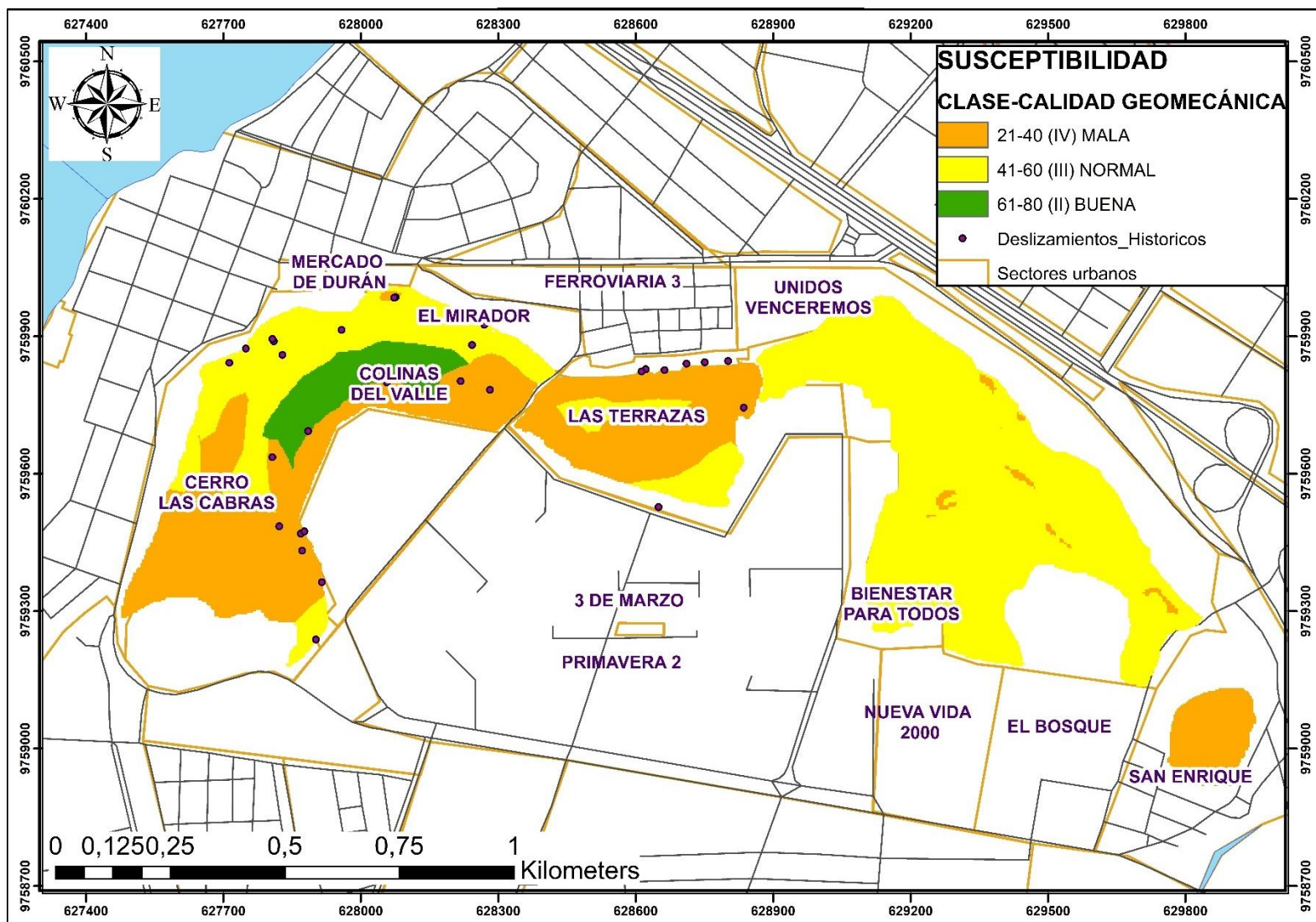


Figura 6.60 Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa de los cerros del casco urbanos del cantón Durán.



Para comprobar el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa, se realizó la superposición de los deslizamientos históricos inventariados en los años 2013, 2014, 2017 y 2018.

El mapa de susceptibilidad de movimientos en masa y deslizamientos históricos ocurridos en el cantón Durán, evaluado con los índice mínimos de RMRb, se clasifica en dos con rocas de calidad normal de clase II y con rocas de mala calidad de clase III (Figura 6.62), muestra la concentración de los deslizamientos en los sectores urbanos de: colinas del valle, cerro las cabras, mercado de durán, el mirador, las terrazas y san enrique. La dos categorías definidas con el mapa son: Clase IV descrita como roca de mala calidad y la clase II descrita como roca de calidad normal.

La clase geomecánica IV descrita como roca de mala calidad se sitúa en el flanco este del cerro “Las Cabras” atravesando los sectores: cerro las cabras , colinas del valle hasta el mirador, en la zona noreste del cerro “Los Almendros” en el sector de las Terrazas y en el extremo sur del cerro “Del Tres” cercano al sector de san enrique, en estos sectores se concentra 20 de los 30 deslizamientos históricos inventariados representando el 67% de los eventos ocurridos en estos sectores.

La calidad geomecánica normal de clase III, se extiende en la zona norte del “Las Cabras” en el sector urbano del mercado de durán, el mirador , en las zona centro y sur del cerro “Los Almendros” y en el cerro “Del Tres” con excepción de la zona sur, en estos sectores se ubican 10 de los 30 deslizamientos que representa un 44% de los eventos ocurridos en el sector.

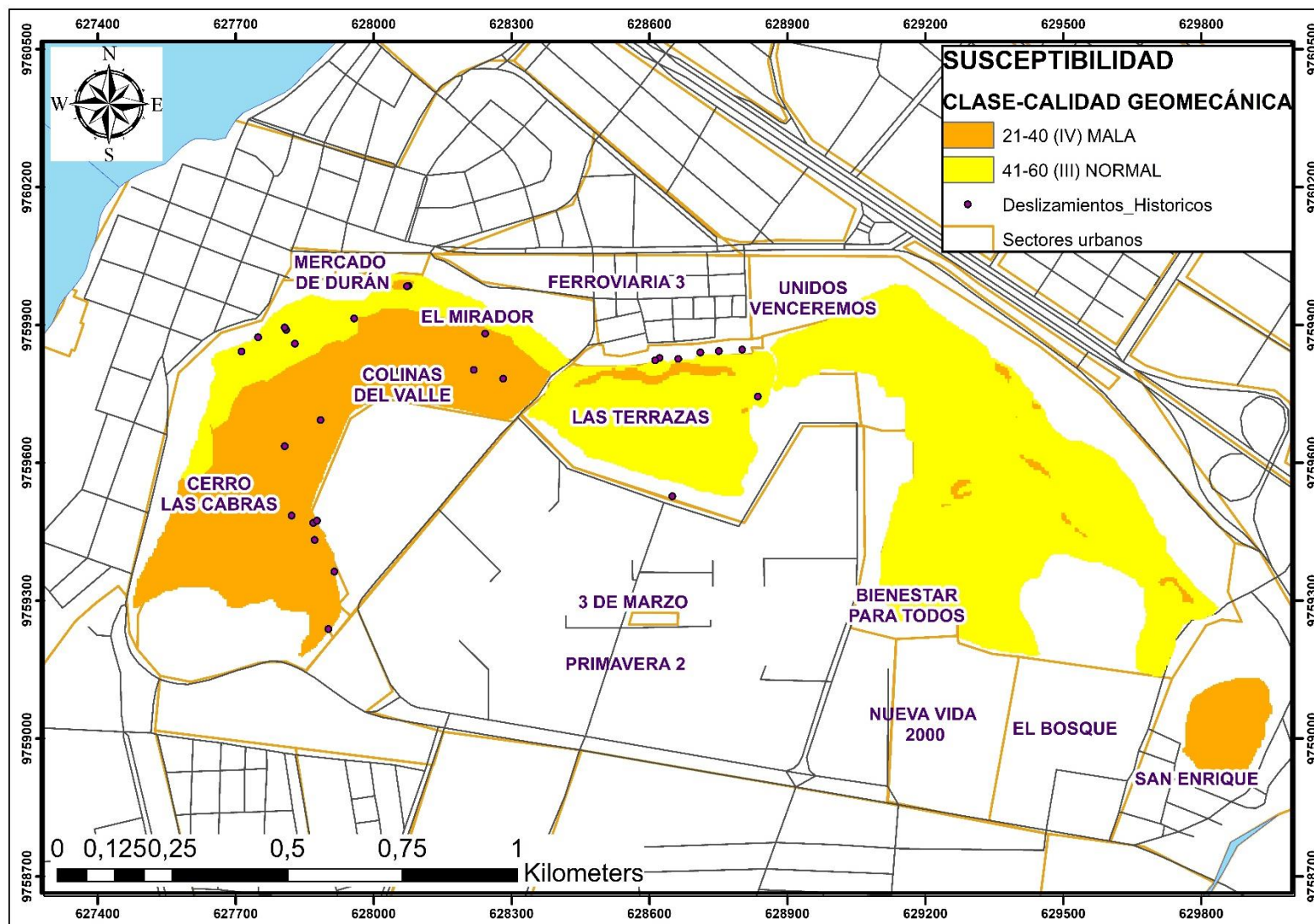


Figura 6.61 Mapa de susceptibilidad de movimientos en masa, en el peor escenario (RMR-c mínimos) y deslizamientos históricos ocurridos de los cerros del casco urbanos del cantón Durán.

# CAPÍTULO 7

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo de titulación son parte de los objetivos planteados en el proyecto Resiliencia climática de Durán: diseñando estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos (RESCLIMA-DURAN)", y se obtuvo las siguientes conclusiones :

- De acuerdo con el mapa de deslizamientos históricos (Figura sectores urbanos propensos a movimientos en masa corresponde a los sectores de: cerro las cabras, mercado de Durán, colinas del valle, san enrique y las terrazas, donde se han presentado 17 de los 31 movimientos inventariados en este trabajo, de los cuales son: 12 flujos de detritos y 2 caídas de roca.
- En la zona de estudio se caracteriza seis unidades litológicas: Lutita, Arenisca Fina, Arenisca Gruesa, Arenisca-Lutita, Brecha-Arenisca y Brecha-Lutita, con afloramientos de tamaño métrico y decimétrico en diferentes sectores, complementado la información geológica disponible por el GAD Municipal de Durán.
- En el área de estudio se identificaron cuatro fallas locales: la Falla 1 DIPDIR 150/ DIP 20 se ubica en el sector sureste del sector de colinas del valle, Falla 2 DIPDIR 205/ DIP 22 se sitúa en el sector de unidos venceremos en la parte norte, Falla 3 DIPDIR 290/ DIP 80 se encuentra atravesando los sectores de cerro las cabras y colinas del valle, Falla 4 DIPDIR 170/ DIP 20 en el noroeste del sector de las terrazas, estas representan el sistema de esfuerzos.
- En la zona de estudio se definio tres medios conductivos: El primer medio posee un rango de resistividades de 20 a 40 [ $\Omega$ m] interpretada como unidad geoelectrica de lutita, alcanzando profundidades entre 5 y 10 m, el segundo medio posee

resistividades que van de 40 a 140 [ $\Omega$ m] interpretada como una unidad geoelectrica de arenisca fina que alcanza profundidades variables de 10 a 20 m, la tercera capa posee resistividades mayores a 140 [ $\Omega$ m], interpretada como arenisca gruesa que alcanza profundidades mayores a los 20 m.

- Se identifico cuatro zonas de depositación de deslizamientos identificadas con la metodología de Van Zuidam,1986 y Pedraza, 1996, ubicadas en la zona sur y noreste del sector de colinas del valle, y en la zona sureste y noreste del sector de las terrazas.
- El índice de Rock Mass Rating Continue (RMR-C), categorizo el área de estudio dentro de dos clases: el 70% del área corresponde a la calidad de roca regular de clase II y el 30% del área corresponde a roca de calidad buena de clase II, lo que indica que los cerros del casco urbano posee una estabilidad normal.
- Por medio de la correlación de los parámetros: litoestratigrafía, geofísica, geomorfología y el índice del Rock Mass Rating básico continuo (RMR-C), se generaron 29 unidades geomecánicas útiles para el cálculo del índice del Slope Mass Rating continuo (SMR-C).
- Con el uso de la red estereografica cuatro planos estructurales generales: tres diferentes tipos de discontinuidad (J) J1 DIPDIR 355/ DIP 74, J2 DIPDIR 306/ DIP 78, J3 DIPDIR 51/ DIP 78 y un estratigrafía (S) So DIPDIR 169/ DIP 20, que indican el sistema de esfuerzos.
- La calidad geomecánica de los cerros se categoriza en tres clases según la evaluación de Romana,1985 dependiendo del valor de índice del SMR-C obtenida en el área de estudio.
- La calidad geomecánica de clase IV descrita como roca de mala calidad se sitúa al sureste del sector de colinas del valle, y la zona noreste y sureste del sector de las terrazas representando aproximadamente el 40% del área de estudio.

- La calidad geomecánica descrita como normal corresponde aproximadamente el 55% del área total, esta se presenta en los sectores del cerro las cabras, mercado de durán, colinas del calle, laderas central,norte y sur del sector de las terrazas y los sectores de unidos venceremos, bienestar para todos, área de cantera y san enrique.
- La clase II descrita como roca de buena calidad corresponde al 5% aproximadamente del área de estudio situada en la zona centrales del sector de colinas del valle.
- El sur de colinas del valle, noreste y sureste del sector de las terrazas, son sectores urbanos propensos a la recurrencia de movimientos en masa ya sea por flujos de detritos, caídas de rocas o movimientos complejos.
- Los modelos de susceptibilidad a movimientos en masa generados son sensibles a la variable del índice del Rock Mass Rating continuo (RMR-C), por ende, una información detallada de las zonas permite ajustar el modelo a la realidad.

## 7.2 Recomendaciones

- Se recomienda incluir información de estudios de sismicidad y precipitaciones del área de estudio, para relacionarlo con los procesos denonantes de deslizamientos.
- Se recomienda levantar nuevamente las tomografías eléctricas (TER) en la temporada lluviosa, en los mismos sitios de muestreo, con el objetivo de realizar estudios de lapsos de tiempo (Time-Lapse ERT monitoring), esto permitirá reconocer y delimitar con mayor precisión zonas de fractura y filtración de agua con el objetivo de indentificar zonas más susceptibles a deslizamientos.
- Se recomienda realizar el levantamiento de datos directos como: perforación y calicatas sobre de las tomografías electricas levantadas con el objetivo de mejorar la interpretación de los modelos geoelectricos resultantes.
- Se recomienda levantar un mayor número de fichas geomecánicas en las zona norte del cerro “Las Cabras” y a lo largo del cerro “Los Almendros” y el cerro “Del Tres” con la finalidad de obtener datos específicos de sus afloramientos y mejor la caracterización geomecánicas de la zona de estudio.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

### Libros

- Abdeslem, J. G., Regalado Sosa, J. J., & Cerquone Ravelo, H. R. (2013). Un modelo 3D de la densidad del subsuelo en el graben de Espino: un aulacógeno Jurásico en el oriente de Venezuela. *Scielo*.
- ABEM. (2012). *Manual de instrucción Terrameter LS". Guía de usuario*. Sundbyberg.
- Abril, A. (2011). *Metodología de zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento Quimsacocha*. Cuenca.
- Banco del Estado. (2010). *Programa de Financiamiento para Gestión de Riesgos*.
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*.
- Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. Wiley, Chichester.
- Chaverri, I. (2016). *Zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento, por medio de la metodología Mora-Vahrson, en la microcuenca del Río Macho, San José, Costa Rica*. Cartago.
- Compton, R. (1970). *Geología de Campo*. PAX-MEXICO.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes*. Washington.D.C: Transportation Research Board, National Research Council.
- Delgado, J., Padilla, F., & Barrientos, V. (2010). *Prácticas de Geología-Mapas Geológico y Problemas*. Coriña: E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Universidad da Coruña.
- D'Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). *Amenazas, Vulnerabilidad, Capacidades y Riesgo en el Ecuador*. Quito: EKSEPTION.
- Escuela Superior Politecnica del Litoral- Decanato de Investigación. (2017). *Resiliencia climática de Duran: Diseñando Estrategias de adaptación para riesgos hidroclimáticos. (RESCLIMA- DURAN)*. Guayaquil.
- ESPOL-TECH. (2014). *Estudios y Propuesta de Estabilización del Cerro Las Cabras- Segundo Producto*. Guayaquil.
- ESPOL-TECH E.P. (2014). *Estudios y Propuesta de Estabilización del Cerro Las Cabras- Tercer Producto*. Guayaquil.

- Ferrer, M., & González de Vallejo, L. (1999). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizo rocosos en afloramientos*. E.T. Brown. Pergamon Press.
- GAD municipal de Durán. (2015). *Plan de Desarrollo Territorial del Cantón Eloy Alfaro, Durán*.
- GAD Municipio del Cantón Durán. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Durán. (2015). *Rendición de Cuentas Anual*. Durán.
- González de Vallejo et al. (2002). *Ingengería Geológica*. Madrid: Person Prentice Hall.
- Greenly, E., & Howel, W. (1930). *Methods in geological surveying: London*. London.
- Guzzetti et al., (2012). *Landslide inventory maps: New tools for an old problem*.
- Idrovo, A. (2006). *Contribución al estudio de los fenómenos de remoción en masa y su relación con la sismicidad*. Quito: Escuela Superior Politécnica Nacional.
- INEC. (2010). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*.
- INIGEMM. (2013). *Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Ecuador, escala 1:1'000.000*. Quito.
- ISRM. (1981). *Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring*. E.T. Brown. Pergamon Press.
- JTC-1. (2008). *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for use planning*. Joint Technical Committee on landslides and Engineered slope.
- Labrousse, B. (1990). *Relaciones entre la formación Cayo y la Formación Piñón en el sector de Guayaquil*.
- Loke, M. (2011). *Electrical resistivity surveys and data interpretation*. Penang, Malaysia: Geotomo Software.
- Loke, M. (2011). *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*.
- Loke, M. (2012). *Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo.
- Luzieux, L., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C., Winkler, & W. (2006). *Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1 N and 3 S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence*. Earth and Planetary Science Letters.
- Mamani, F. (2016). *Estudio geofísico mediante tomografía eléctrica resistiva en 2D para el abanico aluvial de Punata*. Cochabamba.



- MIDUVI. (2015). *Hacia ciudades más equitativas, sustentables y productivas. El aporte de la legislación Urbana. Cuadernos Urbanos N. 4.* Quito.
- Montiel A., A. M. (2015). *Tomografía de resistividad eléctrica en el campus Ixtaczoquitlán de la Universidad de Veracruzana.* Mexico: UNAM.
- Mora, R. (2002). *Curso Internacional sobre Microzonificación y su Aplicación en la Mitigación de Desastres. Sección A-Fundamentos sobre deslizamientos.*
- Mora, R., & al, e. (1992). *Macrozonificación de la amenaza de deslizamientos y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica-Escala 1:286000.* San José de Costa Rica: CEPREDENAD.
- Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., & Zambrano, I. (1995). *Basin Development in an Accretionary, Oceanic-Floored Fore-Arc Setting: Southern Coastal Ecuador During Late Cretaceous-Late Eocene Time.* Guayaquil: Petroproducción.
- Palacky, G. (1987). *Resistivity Characteristics of Geological Targets, en: M. Nabighian.* Society of Exploration Geophysicists. Tulsa: Electromagnetic Methods in Applied Geophysics–Theory.
- Palmstrom, M. (1998). *Caracterización de macizos rocosos mediante el Rmi y sus aplicaciones en Mecánicas de Rocas.* Madrid: I. T. S. De Ingenieros de Minas.
- Pazos, V., & Vinuesa, W. (1990). *Contribución al estudio sobre los deslizamientos en el Ecuador.* Quito: Escuela Superior Politecnica Nacional.
- Pedraza-Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología: Principios Métodos y Aplicaciones.* Ed. Rueda.
- Pérez, N. (2010). *Evaluación de la resistividad en campo y en laboratorio y su aplicación a pavimentos.* Sanfandila: Publicación Técnica.
- PMA. (2007). *Geociencias para las comunidades Andinas.*
- Poussin. (2015). *Introduction. Doctoral dissertation.*
- Prieto, J. (2003). *Conceptos Estratigráficos.* Mexico: Mexico.
- RESCLIMA, DURAN. (2018). *Resiliencia Climática de Durán: Diseñando Estrategias de Adaptación para Riesgos Hidroclimáticos.* Durán: ESPOL.
- UN-Habitat. (2012). *Urban Patterns for a Green Economy: Leveraging Density.*
- UNISDR. (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction.* Geneva: United Nations International Strategy for Disaster Reduction.

- Valdiviezo Ajila, Á. (2014). *Propuesta Metodológica para la aplicación del Slope Mass Rating Continuo (SMR-C) mediante un sistema de información geográfico en los taludes de la Vía la Moya-Achuapallas*. Guayaquil: ESPOL.
- Van Zuidam, R. (1986). *Aerial photo-interpretation interrain analysis and geomorphologic mapping*. La Haya.
- Suarez, J. (1998). *Capítulo 1- Caracterización de los movimientos,* Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos-SHAH. (2015). *Informe Nacional del Ecuador-Tercera conferencia de las Naciones Unidas Sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible Habitat III*. Quito.
- Talman, H. E. (1946). *Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador*. AAPG.
- Romana, M. (1985). *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. International Symposium on the role of rock mechanics. ISRM- Proceedings.
- Romana, M. (1985). *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. *Int Symp. On the role of rock mechanics ISRM*. Zacatecas.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2010). *Estudios Geológicos y Exploración*. Estados Unidos de Mexico, Dirección General de Servicios Técnicos. Mexico: Estados Unidos de Mexico.
- Secretaría de Gestión de Riesgos-SGR. (2014). *Programa de Prevención y Mitigación para reducir riesgos por diferentes amenazas*.
- SENPLADES. (2013a). *Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir (PNBV)*. Quito.
- Serrano, J. (2003). *Caracterización geofísica de filtraciones de agua en el subsuelo*. Catalunya.
- Sharma P. (1997). *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sharpe, C. (1938). *Landslides and related phenomena: A study of mass movement of soil and rock*. New York: Columbia University Press.
- Villalta, A., & Gonzáles, M. (2011). *Zonificación de Amenazas Geológicas por movimientos en masa que permitan el ordenamiento territorial en la Urbanización ciudad victoria de Loja*. Loja.

Weinzettel, P. (2009). *Utilización de tomografía eléctrica con distintas configuraciones y espaciamientos electrodicos para la caracterización de la zona no saturada*. Barcelona: Publicación Técnica.

## Libro en línea

CAT-MED Plaform for Sustainable Urban Models. (2010). *CAT-MED Plaform for Sustainable Urban Models*. Obtenido de CAT-MED Plaform for Sustainable Urban Models: <https://aurehola.blogspot.com/2012/03/colores-y-rangos-para-la-densidad-de.html>

DESINVENTAR. (s.f.). *DESINVENTAR.org*. Obtenido de <https://online.desinventar.org/desinventar/#ECU-DISASTER>

Geofísica Exploraciones. (2008). *"Métodos y técnicas"*. Obtenido de <http://geofisicaexploraciones.com/metodos-y-tecnicas/>

Henderson, W. (1979). Cretaceous to Eocene volcanic arc activity in the Andes of northern Ecuador. *Journal of the Geological Society*, 367-378. doi:<https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.0367>

IPCC. (2014b). *Summary for Policymakers. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.012>

IPPC. (2007). *Climate change 2007 : impacts, adaptation and vulnerability : Working Group II contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change*. doi:<https://doi.org/10.2134/jeq2008.0015br>

Machielsa, L., Moranteb, F., Snellingsa, R., Calvoc, B., Canoirac, L., Paredesb, C., & Elsen, J. (2008). Zeolite mineralogy of the Cayo formation in Guayaquil, Ecuador. *ELSEVIER*, 180-1888. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.01.012>

Melle, J. V., Vilema, W., Faure-Brac, B., Ordoñez, M., Lapierre, H., Jimenez, N., . . . Milton. (2008). Pre-collision evolution of the Piñón oceanic terrane of SW Ecuador: stratigraphy and geochemistry of the "Calentura Formation". *Bulletin de la Société Géologique de France*, 433-443. doi:<https://doi.org/10.2113/gssgfbull.179.5.433>

- Reynaud, C., Jaillard, É., Lapiere, H., Mamberti, M., & Mascle, G. H. (s.f.). *America, Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America*. doi:[https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00099-2)
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., & Richard, G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Elsevier*, 173-193. doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004>
- Wallrabe-adams, H.-J. (1990). *Petrology and geotectonic development of the Western Ecuadorian Andes: the Basic Igneous Complex*. doi:[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90411-Z](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90411-Z)

### **Páginas web**

- Centro Geotécnico Internacional. (s.f.). *Centro Geotécnico Internacional*. Obtenido de Centro Geotécnico Internacional: <http://www.centrogeotecnico.com/store/product/software-dips.html>
- Manilla, A. (2003). *Geofísica Aplicada en los proyectos básicos de Ingeniería Civil*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Sanfadilla: Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt229.pdf>

### **Artículos de revista tomados de Internet**

- FLACSO-Ecuador. (2012). *Riesgos urbanos en América Latina*. Quito: Revista Letras Verdes.
- Diario El Universo. (2014). *Estudiarán problemas en el cerro Las Cabras*.
- El Telégrafo. (7 de Abril de 2015). Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/informacion/1/una-zona-de-duran-fue-declarada-en-emergencia-galeria>
- Nicolalde. (11 de julio de 2017). "Guayas es la provincia con mayor número de asentamientos". (Telégrafo, Entrevistador) Obtenido de

<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/politica/1/guayas-es-la-provincia-con-mayor-numero-de-asentamientos>

Pack, R., Tarboton, D., & Goodwin, C. (2001). "Assessing Terrain Stability in a GIS using SINMAP," in *15th annual GIS conference, GIS 2001*.

### **Artículos de revistas**

L. Machiels, F. M. (2008). Zeolite mineralogy of the Cayo formation in Guayaquil, Ecuador. *ScienceDirect*, 180-188.

Perrone, A., & V, L. (2014). Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation. *Earth-Science Reviews*, 72-79.

Terzaghi, K. (1950). Mechanism of landslides. Application of geology to engineering practice. *Geol. Soc. of America, Berkeley*, 83-123.

Vargas, C. (Diciembre de 2000). Criterios para la clasificación y Descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22, 40-55.

## 9. ANEXOS

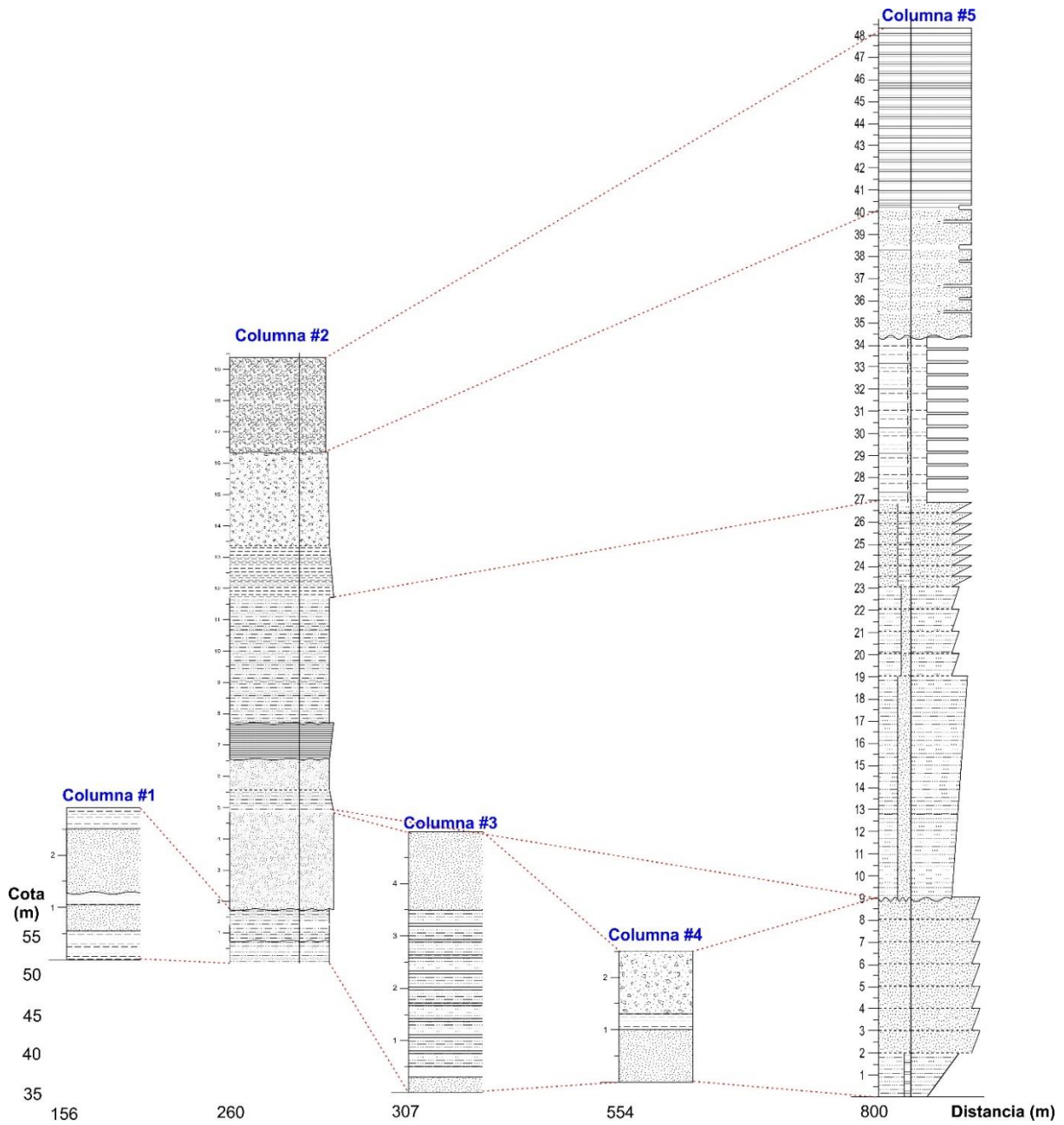
### Índice de anexos

Anexo 1 Correlación de cinco columnas estratigráficas interceptadas por el perfil A-A'.	131
Anexo 2 Correlación de cinco columnas estratigráficas interceptadas por el perfil B-B'.	132
Anexo 3 Columna General perfil C-C' perteneciente al cerro "Del Tres".	133
Anexo 4 Columna General perfil A-A' perteneciente al cerro "Las Cabras".	135
Anexo 5 Columna General perfil B-B' perteneciente al cerro "Los Almendros".	136
Anexo 6 Columna General perfil C-C' perteneciente al cerro "Del Tres".	137
Anexo 7 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES1_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.	141
Anexo 8 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES1_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.	142
Anexo 9 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES2_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.	143
Anexo 10 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES2_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.	144
Anexo 11 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES4_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.	145
Anexo 12 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES4_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.	146

Anexo 13 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES3_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. ....	147
Anexo 14 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES3_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares. ....	148
Anexo 15 Mapa Altimétrico de los cerros del casco urbano del cantón Durán. ....	149
Anexo 16 Mapa de Pendientes de los cerros del casco urbano del cantón Durán, clasificación Natural break. ....	150
Anexo 17 Mapa geomorfológico de los cerros del casco urbano del cantón Durán, según (Van Zuidam, 1986) y (Pedraza-Gilsanz, 1996). ....	151

## 9.1 Correlación de columnas estratigráficas

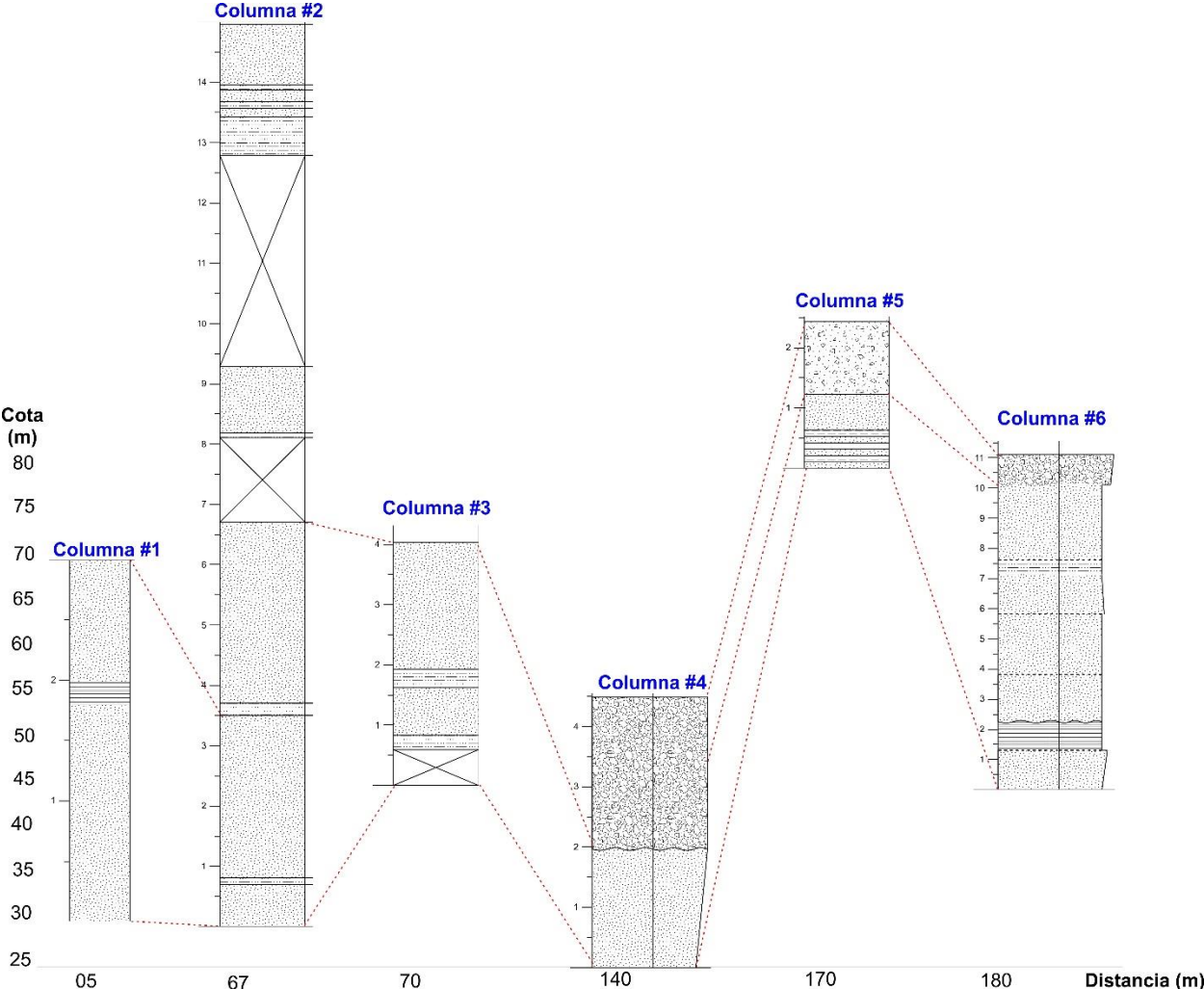
Para el cerro las cabras se utilizó cinco columnas estratigráficas identificadas en el perfil A-A' (Anexo 1).



Anexo 1 Correlación de cinco columnas estratigráficas interceptadas por el perfil A-A'.

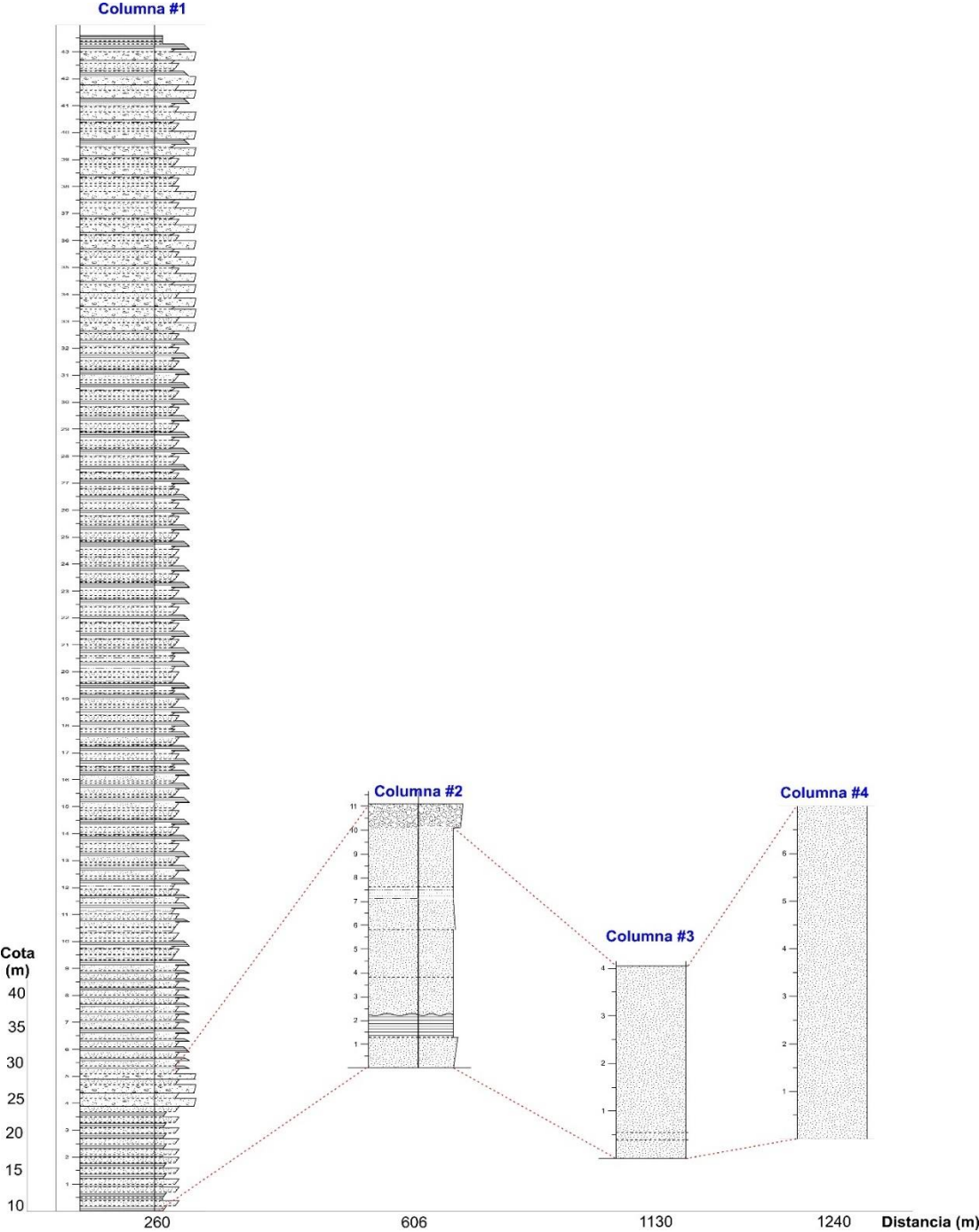


Para el cerro Los Almendros se utilizó seis columnas estratigráficas identificadas en el perfil B-B' (Anexo 2).



Anexo 2 Correlación de cinco columnas estratigráficas interceptadas por el perfil B-B'.

Para el cerro Del Tres se utilizó seis columnas estratigráficas identificadas en el perfil C-C' (Anexo 3).



Anexo 3 Columna General perfil C-C' perteneciente al cerro "Del Tres".

## 9.2 Columnas representativas







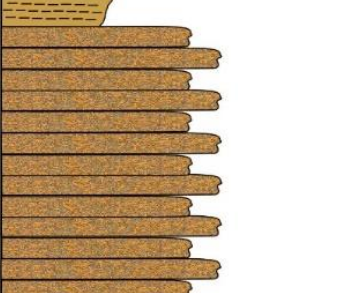



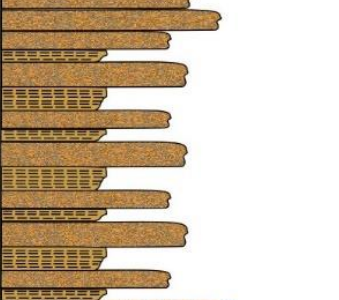






- Se identifico tres tipos de litologías: lutita, toba y arenisca, la columna representativa del cerro “Las Cabras” posee una potencia de 74 m, en base posee una capa de arenisca de grano fino de color marrón oscuro de espesor métrico, suprayacente a esta capa se encuentra dispuesta 2 m de lutita color marrón de grano fino, en techo se observa contacto gradacional con un paquete con espesor de 10 m de arenisca de granos fino y grueso intercaladas en capas de espesor dcm, superior a esta se encuentra una capa de 4 m con intercalaciones de arenisca de grano fino y lutita dispuestas en capas dcm, suprayacente se tiene un bloque con 7 m de capas intercaladas de espesor cm a dcm de toba y lutitas, superior a este se muestra el paquete de arenisca de grano fino y lutita intercalada con espesor de 7 m, finalmente en techo posee contacto gradacional con una capa de 8 m de lutita silicificada de color marrón (Anexo 4).
- La columna representativa del cerro “Los Almendros” posee una potencia de 53 m, en base posee 1 m de brecha, suprayacente a esta capa se tiene 6 m de un paquete de intercalaciones de lutita y areniscas de grano medio a fino de espesores dcm, superior a esta capa se dispone 7 m arenisca de grano medio a grueso intercaladas en capas dcm, encima de esta capa presenta un paquete de 12 m de capas intecaladas de dcm a m de arenisca de grano medio y lutita. (Anexo 5).
- La columna representativa del cerro Del Tres posee una potencia de 73m, la cual en base posee un paquete de 7 m de espesor de areniscas de grano fino a medio dispuesta en capas de espesor dcm, superior a esta capa se encuentra capas de espesor cm de toba, dispuesta superiormente se encuentra una capa de brecha de 1m de brecha, superpuesta a esta encontramos un paquete de intercalaciones de arenisca de grano medio, lutita y toba de 25 m de espesor, en techo se dispone un paquete de 12 m de espesor de toba, lutita y brecha intercalada en capas dcm. (Anexo 6)

ALTR. (m)	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	FOTO	MUESTRAS/ ESTRUCTURAS	LITOLOGÍA	
74				Lutitas silicificada de color marrón oscuro en capas de 10-15 cm, presenta bandamiento en toda de su estratificación.	
65				Intercalaciones entre areniscas de grano medio y lutitas compactas de color blanquecino, presentan nódulos de tamaño centimétrico.	
59				Intercalaciones entre areniscas de grano medio friable fracturada con pequeñas capas de brecha verdosa también se presentan lutitas compactas de color blanquecino, presentan nódulos de tamaño centimétrico.	
52				Lutitas estratificadas de color gris con intercalaciones de areniscas de grano fino color marrón claro.	
48				Intercalaciones entre areniscas de grano medio a grueso en capas centimétricos de color marrón oscuro estratificadas, con presencia de meteorización esferoidal.	
38				Lutitas de color marrón estratificadas presenta diaclasas	
36				Arenisca de grano fino de color gris	
35					








clay	silt	vf	S	fS	m	Sc	Svc	S	G	P	C	B
Mud				Sand								Gravel

DATOS	LITOLOGÍA	ESTRUCTURAS
<b>Columna:</b> Cerro Las Cabras  <b>Realizado por:</b> Zambrano P.,K.	Toba Brecha Lutita Arena	Estratificación Nódulos meteorización esferoidal

**Anexo 4 Columna General perfil A-A' perteneciente al cerro "Las Cabras".**

ALTR. (mts)	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	FOTO	MUESTRAS/ ESTRUCTURAS	LITOLOGÍA
53 52			   	Arenisca fina de color marrón oscuro. Con dos familias de diaclasas, con separación métrica. J1 260/80 J2 100/5.
39			 	Arenisca de grano medio, compacta, estratificada, con presencia de minerales feldespáticos, con meteorización esferoidal. So 190/15 J1 330/90
32				Intercalación de areniscas de grano medio a fino de color marrón claro en capas centimétricas laminadas, presencia de limolita color marrón claro laminada, friable, estratificada de capas milimétricas a centimétricas.
26			 	Brecha muy meteorizada, con clastos de tamaño centimétrico. Se encuentran nódulos de sílice de un tamaño decimétrico con arenisca fina, color gris oscuro, compactas.
25				

clay	silt	vf	S	f	m	Sc	Sc	vc	S	G	P	C	B
Mud				Sand									Gravel

DATOS	LITOLOGÍA	ESTRUCTURAS
<b>Columna:</b> Cerro Los Almendros  <b>Realizado por:</b> Zambrano P., K.	 Toba  Brecha  Lutita  Arena	 Estratificación  Nódulos  meteorización esferoidal

Anexo 5 Columna General perfil B-B' perteneciente al cerro "Los Almendros"

ALTR. (mts)	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	FOTO	MUESTRAS/ ESTRUCTURAS	LITOLOGÍA
73				Intercalaciones de brecha de color gris claro con presencia de clastos subangulosos de tamaño centimétrico de tonalidad verde, toba de tonalidad verde en capas de 10-15 cm con cristales de bandamiento de sílice y limolita de color marrón claro en capas de 1-2 mm.
61				Intercalaciones de lutita verde compacta silicificada con oxidación a color marrón claro, presencia de brechas con clastos subangulosos de tamaño centimétrico a milimétrico. Intercalaciones entre lutitas verdosas azuladas con limos de color marrón oscuro y lutitas a limos de color marrón claro capas de 10-20 cm de lutita verde en capas de 10-15 cm de color marrón y capas de 20-30 cm de arenisca en ciertas zonas se observa un bandeamiento de 5 cm de toba con sílice al final de las intercalaciones. F 25/80; F 285/88; J1 40/30 J2 265/70; J2 165/80 con matriz de arena fina bien estratificada J1 380/85; J2 350/90
36				Brecha de color gris claro con presencia de meteorización esferoidal.
35				Intercalación de toba de tonalidad verdoso, arenisca fina de color marrón oscuro de 10-20 cm y limolita marrón claro, dispuestas en capas centimétricas
32				Estratificación de arenisca de color marrón claro de capas centimétricas intercalada en granos finos y grano medio compacta, presencia de meteorización esferoidal.
25				

clay	silt	vf	S	m	Slc	Svc	S	G	P	C	B
Mud			Sand					Gravel			

DATOS	LITOLOGÍA	ESTRUCTURAS
Columna: Cerro Del Tres	Toba	Estratificación
Realizado por: Zambrano P.,K.	Brecha	Nódulos
	Lutita	meteorización esferoidal
	Arena	

Anexo 6 Columna General perfil C-C' perteneciente al cerro "Del Tres".

### 9.3 Inventario de movimientos en masa registrados en el área de estudio.

Fecha	Punto	X	Y	Sector	Fuente	Tipo
24/1/2013	9	628836	9759744	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
29/1/2013	10	628802	9759846	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
29/1/2013	11	628751	9759843	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
30/1/2013	12	628711	9759840	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
30/1/2013	13	628663	9759826	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
3/1/2014	5	628243	9759881	El Mirador	Google Earth Pro	Deslizamiento
21/1/2014	6	628018	9759845	Colinas del Valle	Google Earth Pro	Deslizamiento
21/1/2014	16	628613	9759823	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
23/1/2014	7	628076	9759985	Cerro Las Cabras	Google Earth Pro	Deslizamiento
1/2/2014	2	628057	9759799	Colinas del Valle	Google Earth Pro	Deslizamiento
7/3/2014	3	628218	9759802	Colinas del Valle	Google Earth Pro	Deslizamiento
10/3/2014	0	627807	9759636	Colinas del Valle	Google Earth Pro	Deslizamiento
13/3/2014	1	627885	9759693	Colinas del Valle	Google Earth Pro	Deslizamiento

13/3/2014	4	62828	975978	Colinas del Valle	Google Earth Pro	Deslizamiento
23/3/2014	14	62862	975982	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
24/3/2014	15	62865	975952	Las Terrazas	Google Earth Pro	Deslizamiento
9/5/2014	8	62774	975987	Cerro Las Cabras	Google Earth Pro	Deslizamiento
22/2/2017	28	62782	975985	Cruz de Mayo	In.RT_CC_Cruz de Mayo	Flujo de detritos
22/2/2017	29	62780	975989	Cruz de Mayo	In.RT_CC_Cruz de Mayo	Flujo de detritos
23/3/2017	17	62781	975988	Cruz de Mayo 1	In. RT_Recorrido de Lluvias	Caídas de roca
23/3/2017	18	62771	975984	Cruz de Mayo 2	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
23/3/2017	19	62786	975946	Colinas del Valle 1	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
23/3/2017	20	62791	975936	Colinas del Valle 2	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
23/3/2017	21	62787	975943	Colinas del Valle 3	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
23/3/2017	22	62790	975923	Parque Forestal	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos



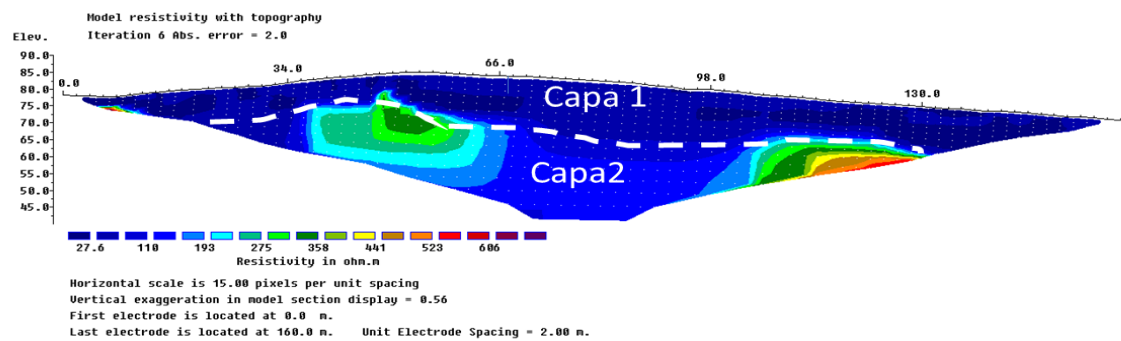
23/3/2017	23	628270	9759925	El Mirador	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
23/3/2017	24	627958	9759914	Cerro Las Cabras	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
23/3/2017	25	628073	9759984	Mercado Municipal	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
23/3/2017	26	638044	9761126	Canal 5 de Junio	In. RT_Recorrido de Lluvias	Flujos de detritos
4/4/2017	27	629354	9759183	Nueva Vida 2000	In. RT_CC_Caida de roca	Caida de Roca
8/2/2018	30	627822	9759485	Colinas del Valle	In. RT_CC_Flujos de detritos	Flujo de detritos

## 9.4 Tomografías eléctricas

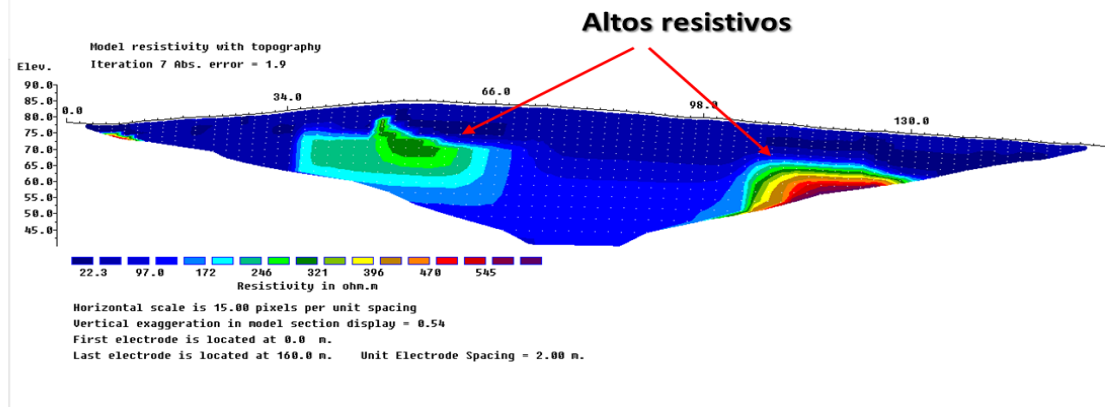
### 9.4.1 Tomografía eléctrica de resistividad RES1\_NS

La TER alcanzó una profundidad de 30 metros en su centro, en el Anexo 7 se muestra los dos métodos de inversión implementados con la corrección topográfica. Se observa una capa de 110 [ $\Omega\text{m}$ ] hasta una profundidad de 10 m, en la segunda capa posee una profundidad de 10-20 m, en donde se observan cuerpos resistentes de 30 m de longitud con resistividades correspondientes de hasta 350 [ $\Omega\text{m}$ ]

a)



b)



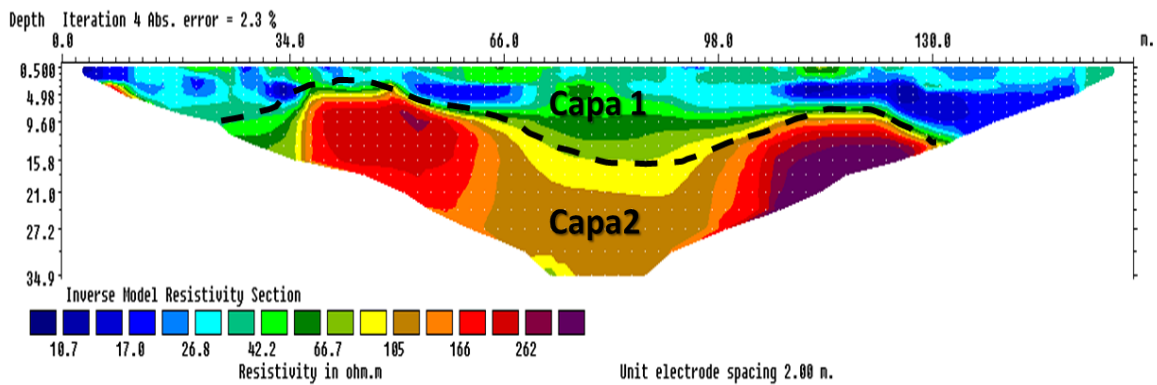
Anexo 7 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES1\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.

El rango de resistividad observado va desde 5.22 [ $\Omega\text{m}$ ] hasta 284 [ $\Omega\text{m}$ ]. Es destacable en esta pseudosección dos regiones bien definidas la primera se extiende desde la

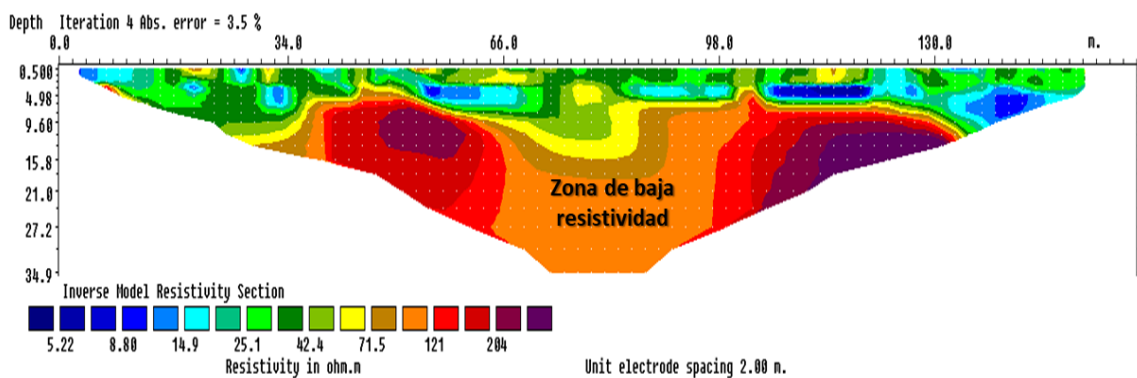
superficie entre 5 y 6 m de profundidad aproximadamente y la segunda profundiza hasta el máximo observable de la sección.

En la Anexo 8 se interpreta dos capas, la primera capa del literal a) presenta una resistividad moderada entre 5.22 y 42.2 [ $\Omega\text{m}$ ] con una distribución continua; la segunda capa muestra dos cuerpos con resistividades mayores que las adyacentes que se encuentran en un rango de entre 150 y 340 [ $\Omega\text{m}$ ], estas estructuras se encuentran en su centro por una zona o cuenca de baja resistividad la cual presenta resistividades entre 70 y 100 [ $\Omega\text{m}$ ].

a)



b)

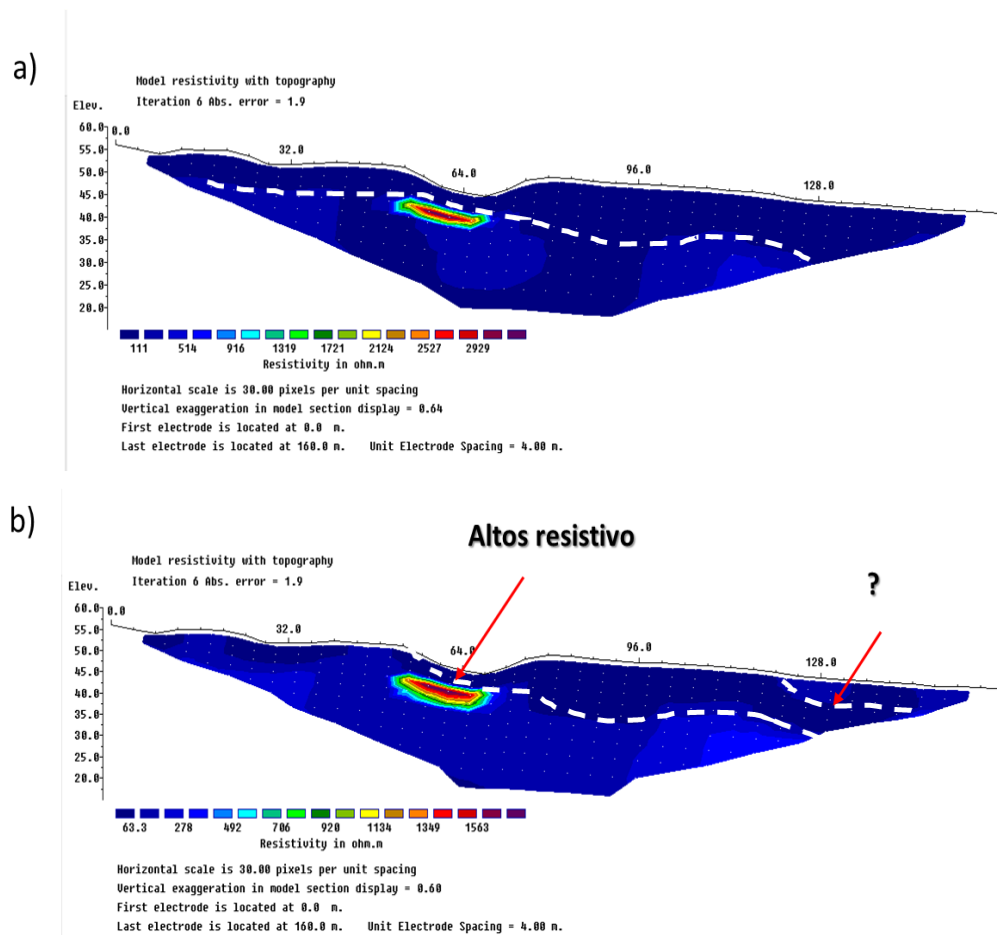


**Anexo 8 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES1\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.**

### 9.4.2 Tomografía eléctrica de resistividad RES2\_NS

La RES2\_NS, alcanza una profundidad de 30 m aproximadamente en su centro, la corrección topográfica permitió un mayor contraste entre las capas, mientras que la inclusión de la topografía del terreno resalta mejor los elementos con resistividades altas.

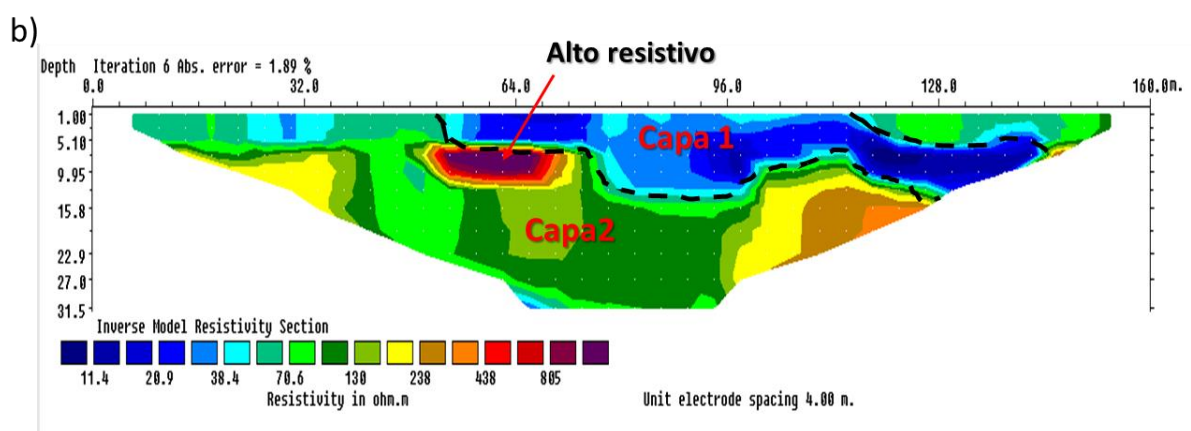
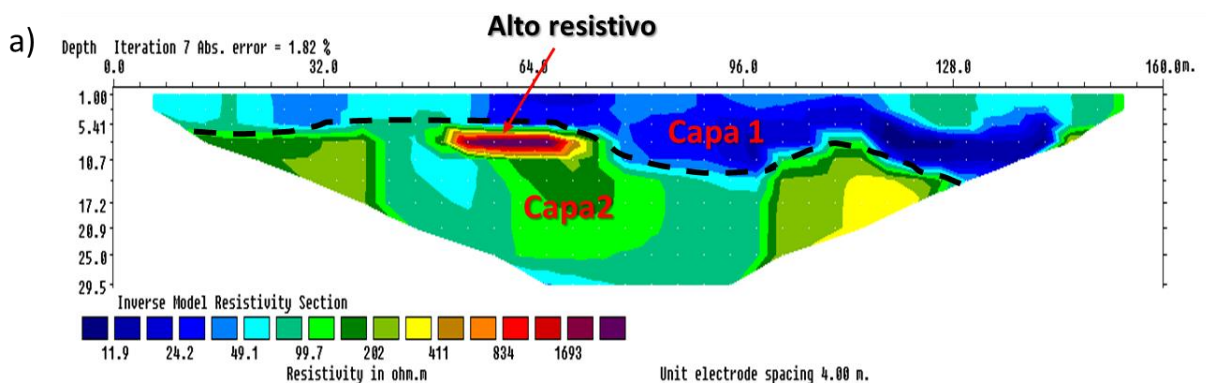
El rango de resistividad observado va desde 11.40 [ $\Omega$ m] hasta 2929 [ $\Omega$ m]. En este perfil se pueden diferenciar dos regiones; la primera se extiende desde la superficie entre 5 y 10 metros de profundidad aproximadamente y la segunda profundiza hasta el máximo observable de la sección (Anexo 9).



Anexo 9 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES2\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.

Anexo 10, muestra las imágenes con valores invertidos con resistividades aparentes. La primera capa presenta una resistividad de 11.40 a 100 [ $\Omega$ m], el espesor de esta capa se observa entre los 7 y 10 m observándose un engrosamiento desde los 52 m del ensayo; esta capa presenta, además, una mayor extensión utilizando el método Robusto, mientras que el método suavizado limita la capa desde el centro aproximadamente a los 52 m (electrodo #13) hasta el final del perfil.

La segunda capa presenta resistividades altas en el rango de 70 a 2929 [ $\Omega$ m], una característica destacable en esta capa es la presencia de un cuerpo de resistividades sumamente altas con respecto al promedio del medio. Este cuerpo se presenta desde los 52 m del ensayo en dirección Norte Sur, las resistividades observadas en este elemento bordean el rango de los 706 a 2929 [ $\Omega$ m] y posee un espesor entre 5 a 6 m con una extensión de aproximadamente 25 a 30 m.

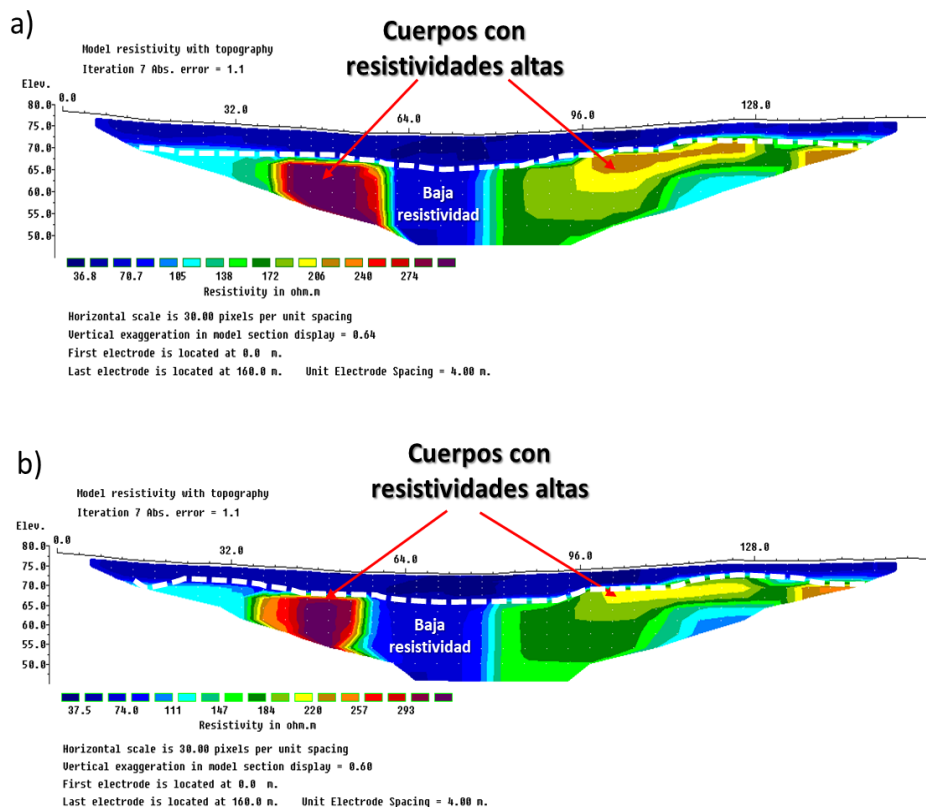


**Anexo 10 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES2\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares**

### 9.4.3 Tomografía eléctrica de resistividad RES3\_NS

Anexo 11, muestra la tomografía eléctrica con corrección topográfica con los dos métodos de inversión, con la implementación de estos métodos se identifican dos regiones con resistividades similares con un rango de resistividades equivalentes por ende se realizó una descripción general de la tomografía eléctrica con corrección topográfica.

Se identifico dos regiones con resistividades diferentes, la primera región posee un espesor de 5 m con resistividades de 36 a 78 [ $\Omega\text{m}$ ] a toda la longitud de la TER, la segunda región posee resistividades de 105 a 110 [ $\Omega\text{m}$ ]; en esta segunda región destaca una zona de baja resistividad de 74.8 [ $\Omega\text{m}$ ] de los adyacentes que son mayores a los 186 [ $\Omega\text{m}$ ].



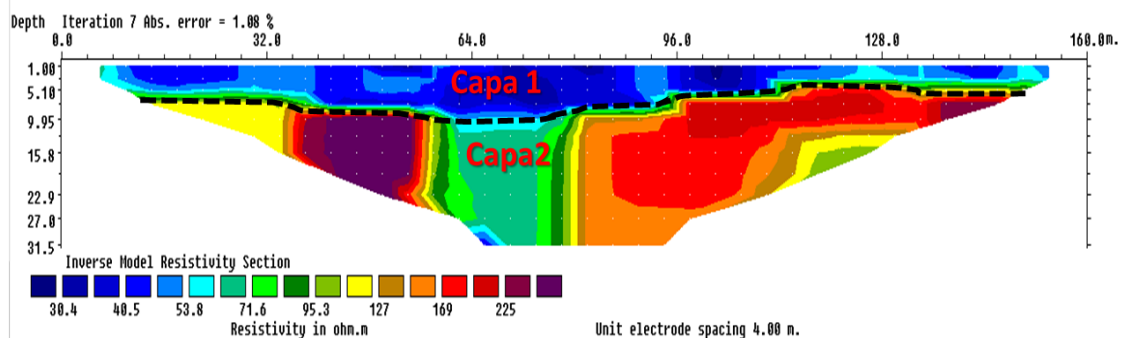
Anexo 11 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES4\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.

#### 9.4.4 Tomografía eléctrica de resistividad RES4\_NS

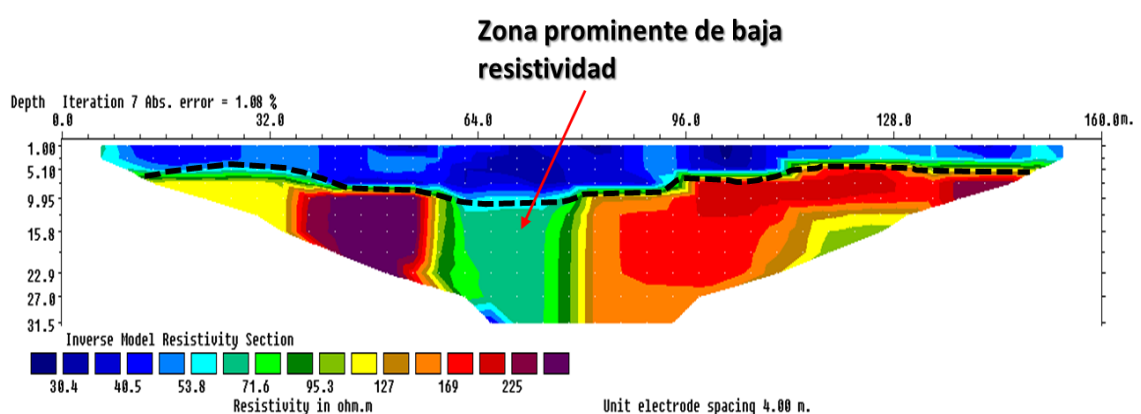
Anexo 12 muestra los dos métodos de inversión implementados en el proyecto para los datos levantados en campo, dado la igualdad de la pseudosección se realizó una única descripción.

En la pseudosección sin la corrección topográfica se diferencian dos regiones, la primera región denominada capa 1 posee un rango de resistividades de 38.4 a 53.8 [ $\Omega\text{m}$ ] que se extiende a una profundidad aproximada de 10 m, la segunda región se posee un rango de resistividades que van de 71.6 a 95.3 [ $\Omega\text{m}$ ], sin embargo en esta región se identifican cuerpos amorfos con resistividades de hasta 281 [ $\Omega\text{m}$ ], separada por una zona prominente de baja resistividad de aproximadamente 30 m longitud.

a)



b)

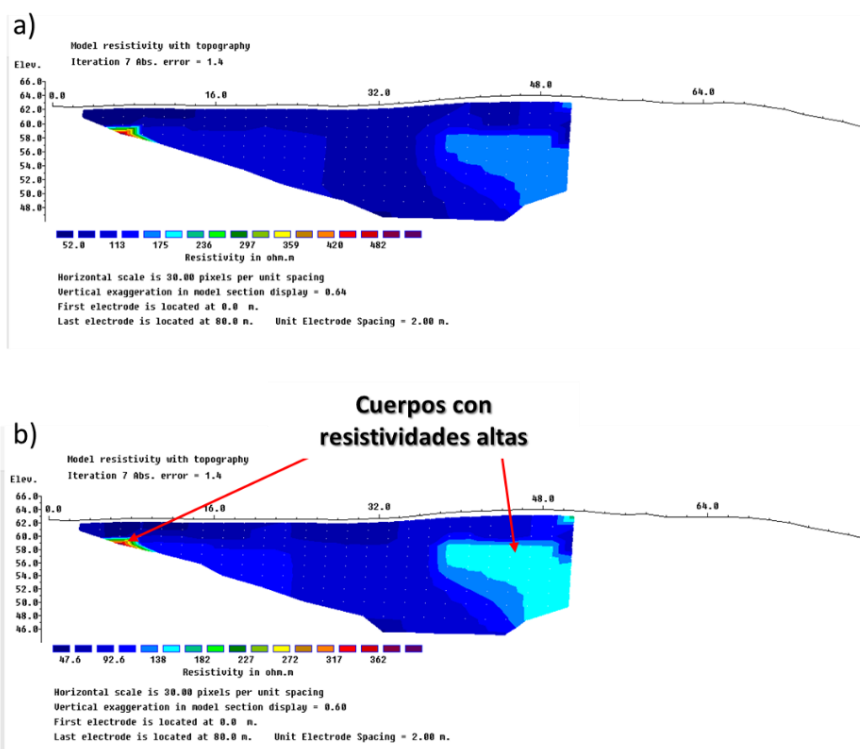


Anexo 12 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES4\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.

### 9.4.5 Tomografía eléctrica de resistividad RES5\_EO

En esta TER se obtuvo un rango de resistividad que va desde los 39.50 [ $\Omega$ m] hasta 482 [ $\Omega$ m]. Este perfil se observa un poco más del 50 % de la longitud total de la configuración real, debido a que durante el ensayo el equipo quedo bajo en potencia de batería y los datos útiles alcanzaron aproximadamente 51 m de longitud. Por tal razón se describirá lo obtenido de la TER, tomando en cuenta que puede existir un error en los limites sin datos.

La Anexo 13 muestra los métodos de inversión implementadas con corrección topográfica, que nos indica un rango de resistividad predominante a lo largo de la TER, que va desde los 47.6 a 138 [ $\Omega$ m], en lo largo de su extensión se destacan dos cuerpos amorfos de resistividades altas con un valor de 175 [ $\Omega$ m], donde uno de ellos parte desde los 5 m hasta los 28 m de profundidad.



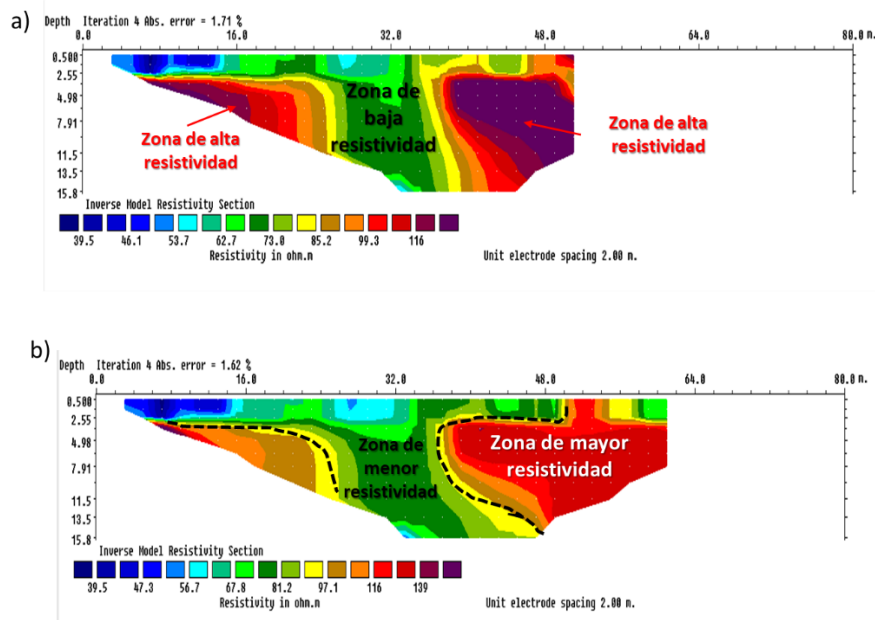
Anexo 13 Modelo de inversión 2D con topografía y con corrección de puntos malos RES3\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.



Anexo 14 indica la pseudosecciones resultantes con los métodos de inversión implementados sin corrección topográfica, las pseudosecciones son similares en su rango de resistividades y su distribución geométrica. Por lo cual se realizó una descripción general.

En las pseudosecciones, se delimitan dos zonas de resistividad, la zona de baja resistividad con una profundidad de 3 m aproximadamente y longitud de 38 m posee un rango de resistividad que va desde los 39.5 a 81.2 [ $\Omega\text{m}$ ], en la parte superior izquierda se observa un cuerpo amorfo con resistividad de 39.5 a 47.3 [ $\Omega\text{m}$ ], a los 24 m de longitud se aprecia una región de resistividad en el rango de 62.7 a 81.2 [ $\Omega\text{m}$ ] con una abertura de 10 m aproximadamente y una profundidad de 15.8 m.

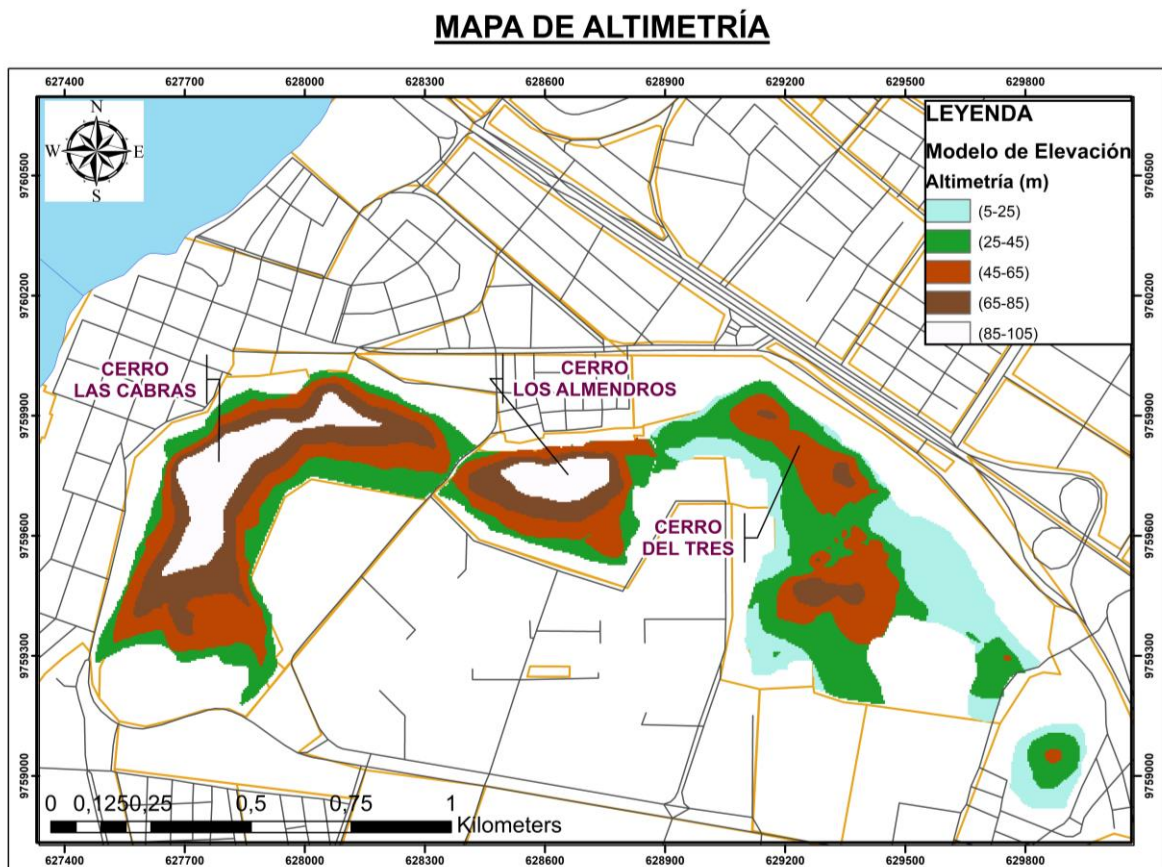
La zona de alta resistividad va desde los 3 m de profundidad el máximo alcanzado de las tomografías eléctricas, posee un rango resistivo de 85.2 a valores mayores de 139 [ $\Omega\text{m}$ ], los cuerpos resistivos se ubican a los extremos de la pseudosección separadas por una región de baja resistividad con 10 m de abertura.



**Anexo 14 Modelo de inversión 2D sin topografía y sin corrección de puntos malos RES3\_NS, en el literal a) Método de inversión robusto, literal b) Método de inversión smoothness constrained least-squares.**

## 9.5 Geomorfología

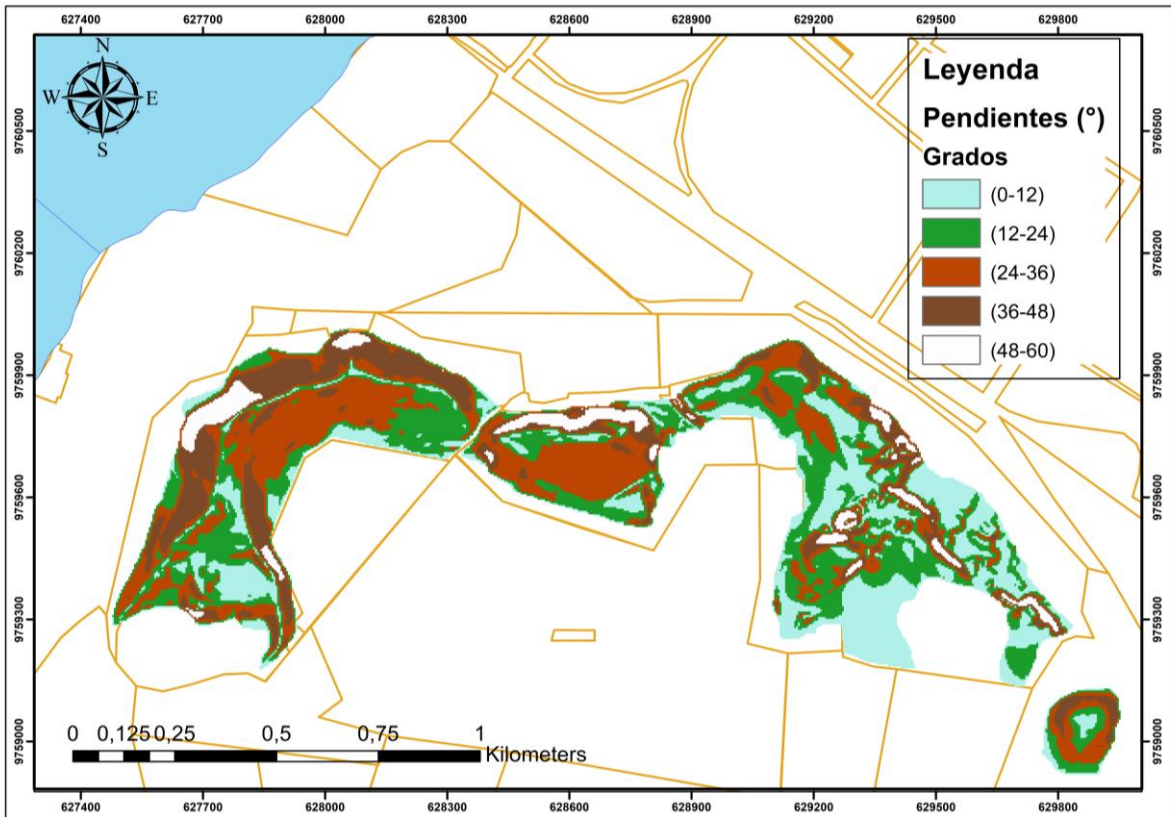
El mapa de altimetría fue categorizado en cinco clases con separación de cada 10 m, el cerro “Del Tres” posee alturas máximas de 85 metros y mínimas de 5 metros; los cerros “Las Cabras” y “Los Almendros” poseen cotas desde 25 metros hasta 105 m de altura. (Anexo 15 )



**Anexo 15 Mapa Altimétrico de los cerros del casco urbano del cantón Durán.**

El mapa de pendientes fue categorizado cinco clases en natural break separados cada 12° grados, las pendientes menores se muestran al sureste del cerro “Las Cabras” y en la parte central del cerro “Del Tres”; las partes de mayor pendiente se identifican en el sector noroeste del cerro “Las Cabras”, en el norte del cerro “Los Almendros” y en pequeñas partes del cerro “Del Tres”. (Anexo 16)

## MAPA DE PENDIENTES

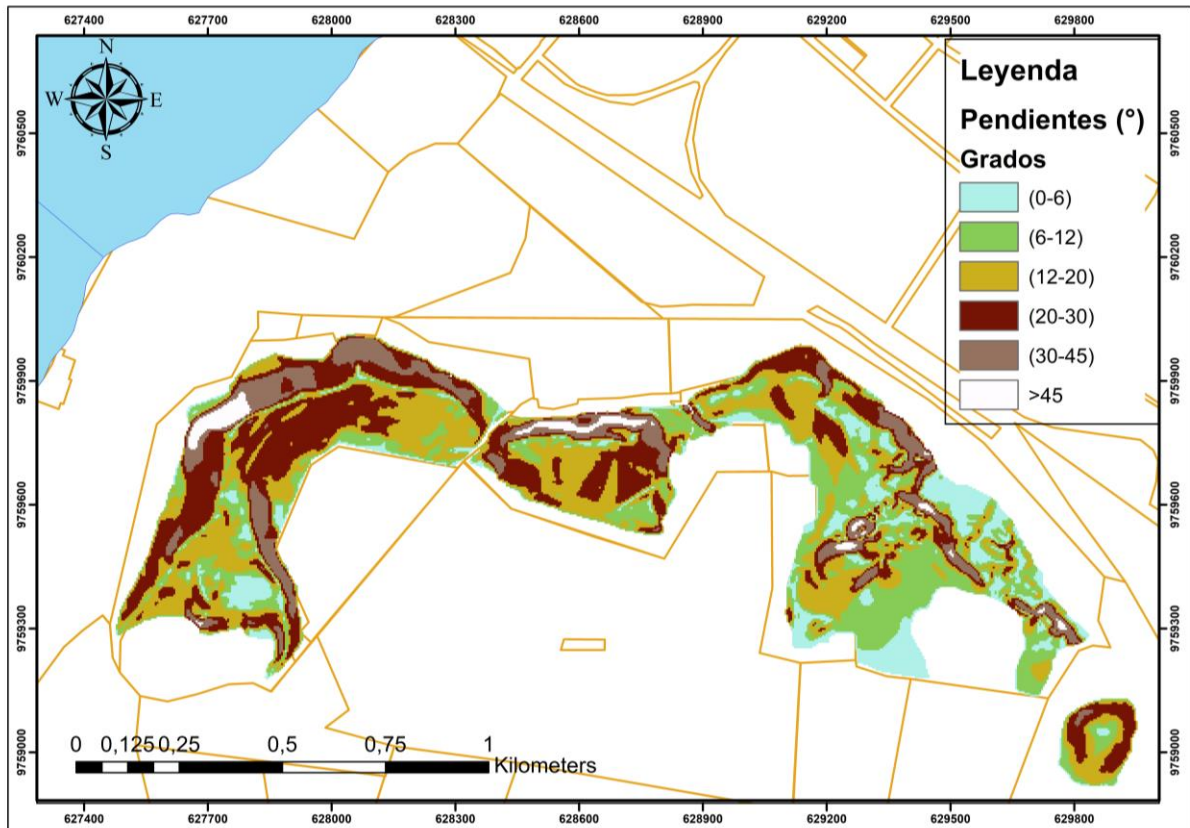


**Anexo 16 Mapa de Pendientes de los cerros del casco urbano del cantón Durán, clasificación Natural break.**

El mapa geomorfológico fue categorizado en seis, sin embargo se observan pendientes recurrentes de 20°-30° en las zonas noreste, norte y sureste del cerro “Las Cabras”, y en los flancos este y oeste del cerro “Los Almendros”, además en los alrededores de los flancos del cerro “San Enrique”.



Las categorías de 6°-12° y 12°-20°, se observan en los flancos sur este y sur oeste de los cerros del casco urbano del cantón Durán. (Anexo 17)

## MAPA DE GEOMORFOGRÁFICO





Anexo 17 Mapa geomorfológico de los cerros del casco urbano del cantón Durán, según (Van Zuidam, 1986) y (Pedraza-Gilsanz, 1996).

### 9.6 Fichas de Levantamiento Geomecánico



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas				
				CÓDIGO :	T1			Cantón	Durán				
<b>REALIZADO POR:</b>	AB-EC-AV		<b>HOJA/PLANO :</b>	Cerro los Almendros				Localidad	Las Terrazas				
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>				<b>COORDENADAS</b>	X :	628394				
								Y :	9759754				
								Z :	47.5				
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutitas silicificadas, limolitas y brechas		NATURALEZA	Volcano-sedimentarias		POTENCIA	>10 m		<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	gravas y arena-limosa			
<b>MORFOLOGÍA</b>	Pendientes rectas								<b>ESPESOR</b>	entre 2 y 3 m			
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS		OTROS						
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1		GRANDES 1 - 3		MEDIOS 3 - 10		PEQUEÑOS 10 - 30		MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFEROS > 60	
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I		ALGO METEORIZADA II		MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI		
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)			HÚMEDO		GOTEOS		FLUJO		CAUDAL ESTIMADO	
<b>OBSERVACIONES</b> Deslizamiento quizás producido por afectación antropica. Talud 3 (310/85), Talud 2 (280/55), Talud 1 (70/45)						RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO		24		23		20	
												13	
												15	
<b>FOTO</b>						<b>CROQUIS</b>							
													





<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas		
<b>REALIZADO POR:</b>	AB-EC-AV		<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	T2		Cantón	Durán		
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>	Cerro los Almendros		Localidad	Las Terrazas			
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutitas silicificadas, limolitas y brechas		NATURALEZA	POTENCIA	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	MORFOLOGÍA	ESPESOR			
			Volcano-sedimentarias	>20 m	gravas y arena-limosas	Pendientes rectas	entre 40-50 cm			
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS	COLUMNAS		OTROS				
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI			
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
<b>OBSERVACIONES</b>	Talud (95/85)				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	18.6	20	30	12.4	10.9
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>					







<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
<b>REALIZADO POR:</b>	AB-EC-AV		<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	T3			Cantón	Durán	
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>	Cerro los Almendros		<b>COORDENADAS</b>	Localidad	Las Terrazas		
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutitas silicificadas, limolitas y brechas		<b>NATURALEZA</b>	Volcano-sedimentarias			X :	628394		
<b>POTENCIA</b>	>10 m		<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	gravas y arena-limosa			Y :	9759754		
<b>MORFOLOGÍA</b>	Pendientes rectas		<b>ESPESOR</b>	entre 2 y 3 m		Z :	47.5			
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS		OTROS			
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1		GRANDES 1 - 3		MEDIOS 3 - 10		PEQUEÑOS 10 - 30	
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I		ALGO METEORIZADA II		MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	
<b>SUELO RESIDUAL</b>	VI		HÍMEDO		GOTEOS		FLUJO		CAUDAL ESTIMADO	
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÍMEDO		GOTEOS		FLUJO	
<b>OBSERVACIONES</b>	Deslizamiento quizás producido por afectación antropica. Talud 3 (310/85), Talud 2 (280/55), Talud 1 (70/45)				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO		16		20	
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>					
							18		39	
									22	





<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA : 1	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas
			CÓDIGO : T4			Cantón	Durán
<b>REALIZADO POR:</b>	AB-EC-AV		<b>HOJA/PLANO :</b>	Cerro los Almendros		Localidad	Las Terrazas
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>			X :	628570
						Y :	9759369
						Z :	24.9
<b>LITOLOGÍA</b>	NATURALEZA Areniscas y Lutitas		Volcano-sedimentarias	POTENCIA >10 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b> gravas y arena-limosa	MORFOLOGÍA Pendientes rectas	ESPESOR entre 2 y 3 m
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS		COLUMNAS	OTROS		
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO
OBSERVACIONES Talud 220/25				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	37	50	56
						48	31
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>			





<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas		
				CÓDIGO :	T4		Cantón	Durán		
<b>REALIZADO POR:</b>	AB-EC-AV		<b>HOJA/PLANO :</b>	Cerro los Almendros		Localidad	Las Terrazas			
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>			<b>COORDENADAS</b>	X :	628570		
							Y :	9759369		
							Z :	24.9		
<b>LITOLOGÍA</b>	Areniscas y Lutitas		NATURALEZA	POTENCIA	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	MORFOLOGÍA	ESPESOR			
			Volcano-sedimentarias	>10 m	gravas y arena-limosa	Pendientes rectas	entre 2 y 3 m			
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS	COLUMNAS		OTROS				
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI		
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
OBSERVACIONES Talud 220/25					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	37	50	56	48	31
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>					




<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA : 1	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas		
			CÓDIGO :	GEOHEL		Cantón	Durán		
<b>REALIZADO POR:</b>	Zambrano, K.; Bermudez, A.		<b>HOJA/PLANO :</b>		<b>COORDENADAS</b>	Localidad	Escuela Santa Marianita		
<b>FECHA:</b>	14 de junio de 2018		<b>FOTOS :</b>			X :	627678		
					Y :	9759695	Z :		
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutita compacta silicificada con presencia de nodulos de silice		<b>NATURALEZA</b>	Sedimentario Marino	<b>POTENCIA</b>	12 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	MORFOLOGÍA	ESPESOR
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS	<b>OTROS</b>					
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI			
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
<b>OBSERVACIONES</b> El afloramiento se caracteriza por ser de lutita silicificada con bandas intercaladas				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	54.7	28.7	25.4	22.5	20.1
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>				






<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA : 1	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas
			CÓDIGO :	GEOH14		Cantón	Durán
<b>REALIZADO POR:</b>	Zambrano, K.; Bermudez, A.		<b>HOJA/PLANO :</b>			Localidad	Los Almendros
<b>FECHA:</b>	14 de junio de 2018		<b>FOTOS :</b>		<b>COORDENADAS</b>	X :	627817
						Y :	9759801
<b>LITOLOGÍA</b>	Brechas compacta de color marrón	<b>NATURALEZA</b> Volcano Sedimentario	<b>POTENCIA</b> 6 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>		MORFOLOGÍA	ESPESOR
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS	<b>OTROS</b> Meteorización esferoidal			
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI	
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO	
<b>OBSERVACIONES</b> por la adundancia de vegetación el afloramiento es poco visible la existencia de diaclasas y estratificación, se observan bloques de brechas con meteorización esferoidal				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO			
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>			





<b>PROYECTO</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	2		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas		
				CÓDIGO :	GEOH2BR			Cantón	Durán		
<b>REALIZADO POR:</b>	Zambrano, K.; Bermudez, A.		<b>HOJA/PLANO :</b>					Localidad	Lancha Virgen de la Merce		
<b>FECHA:</b>	14 de junio de 2018		<b>FOTOS :</b>					X :	627840		
								Y :	9754826		
								Z :			
<b>LITOLOGÍA</b>	Brechas compacta con presencia de meteorización esferoidal		<b>NATURALEZA</b>	Volcano Sedimentario		<b>POTENCIA</b>	6 m		<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	MORFOLOGÍA	ESPESOR
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS		<b>OTROS</b> Meteorización esferoidal				
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60				
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI				
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
<b>OBSERVACIONES</b>					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	54	40	39.8	24.4	22.6	
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>						




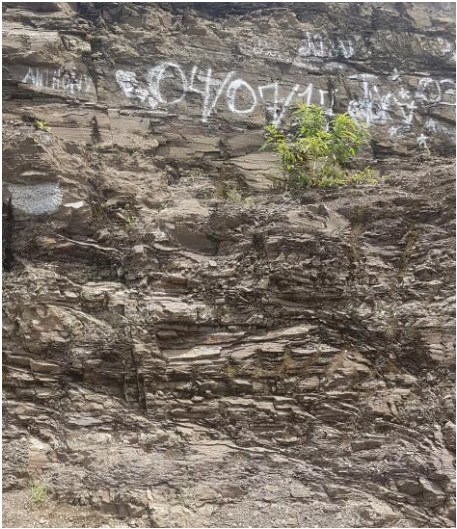
<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	3	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
				CÓDIGO :	EG3-H3-LA		Cantón	Durán	
<b>REALIZADO POR:</b>	Detrás de la escuela		<b>HOJA/PLANO :</b>			<b>COORDENADAS</b>	Localidad		
<b>FECHA:</b>	25 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>	7803-7807			X :	628826	
						Y :	9759607		
						Z :			
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutitas silicificadas y arcillas	<b>NATURALEZA</b>	Sedimentario	<b>POTENCIA</b>	9 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	MORFOLOGÍA	ESPESOR	
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS	<b>OTROS</b>					
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI			
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
<b>OBSERVACIONES</b>				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	31.7	35.2	39	28.2	24
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>					



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	4		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas		
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	EG5-H4-LS			Cantón	Durán		
<b>FECHA:</b>	27 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>	7803-7807		<b>COORDENADAS</b>		X :	627682		
<b>LITOLOGÍA</b> Lutita silicificada			<b>NATURALEZA</b> Sedimentario	<b>POTENCIA</b> 4 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>		<b>MORFOLOGÍA</b>	<b>ESPESOR</b>			
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS		<b>OTROS</b> Meteorización esferoidal				
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1		GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I		ALGO METEORIZADA II		MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI			
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)			HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
<b>OBSERVACIONES</b>						<b>RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO</b>					
						48.5	44.4	47.3	56.2	47.8	
<b>FOTO</b>						<b>CROQUIS</b>					
											





<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	3	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas		
				CÓDIGO :	GEOMEC3-BR-AR		Cantón	Durán		
<b>REALIZADO POR:</b>	ESPOL		<b>HOJA/PLANO :</b>	1		<b>COORDENADAS</b>	Localidad	Las Terrazas		
							X :	629009		
<b>FECHA:</b>	26 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>				Y :	9759889		
							Z :			
<b>LITOLOGÍA</b> Brechas y Arensca fina			<b>NATURALEZA</b> Volcano Sedimentario		POTENCIA 9 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>		MORFOLOGÍA	ESPESOR	
<b>ESTRUCTURAS</b>		PLIEGUES	FALLAS		COLUMNAS		OTROS			
<b>FRACTURACIÓN</b>		BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>		SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI		
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>		SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
OBSERVACIONES					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	44.2	36.1	36.8	44.1	32.7
FOTO					CROQUIS					
										



<b>PROYECTO:</b>	Proyecto Resclima Durán		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	EG1-H1-BR			Cantón	Durán	
<b>FECHA:</b>	25 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>	7803-7807		<b>COORDENADAS</b>	Localidad	Las Terrazas		
<b>LITOLOGÍA</b>	Brechas de clastos cm, lutitas, areniscas y tobas.		<b>NATURALEZA</b>	Volcano Sedimentario			X :	628790		
<b>POTENCIA</b>	11,60 m		<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>				Y :	9759771		
<b>MORFOLOGÍA</b>			<b>ESPESOR</b>			Z :	21.2			
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS		<b>OTROS</b> Meteorizacion esferoidal			
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS	MUY BRECHIFICADA > 60			
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI				
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
<b>OBSERVACIONES</b>					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	18.4	18.1	13	14.7	13
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>					



<b>PROYECTO:</b>	Proyecto Resclima Durán		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	EG1-H1-L			Cantón	Durán	
<b>FECHA:</b>	25 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>	7803-7807		<b>COORDENADAS</b>	Localidad	Las Terrazas		
<b>LITOLOGÍA</b>	Brechas de clatos cm, lutitas, areniscas y tobas.		<b>NATURALEZA</b>	Volcano Sedimentario			X :	628797		
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS	COLUMNAS			Y :	9759741		
<b>POTENCIA</b>	11,60 m		<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	MORFOLOGÍA		Z :	34.7			
<b>OTROS</b>	Meteorizacion esferoidal									
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60			
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI				
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
<b>OBSERVACIONES</b>				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	31.7	28.1	47.9	28.3	26.5	
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>						



<b>PROYECTO:</b>	Proyecto Resclima Durán		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA : 2	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas
			CÓDIGO :	EG1-H2-L		Cantón	Durán
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>			Localidad	Las Terrazas
<b>FECHA:</b>	25 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>	7803-7807	<b>COORDENADAS</b>	X :	628765
						Y :	9759553
						Z :	
<b>LITOLOGÍA</b>	Brechas de clastos cm, lutitas, areniscas y tobos.	<b>NATURALEZA</b> Volcano Sedimentario	<b>POTENCIA</b> 11,60 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b> Deslizamiento	<b>MORFOLOGÍA</b> Pendiente recta/plana	<b>ESPESOR</b> 10-15 m <sup>3</sup>	
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS		<b>OTROS</b> Meteorización esferoidal		
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m <sup>3</sup>	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS	MUY BRECHIFICADA > 60
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI	
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO
<b>OBSERVACIONES</b> 7 juntas por m <sup>3</sup>				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	30.7	53	47.4
						43	31
FOTO				CROQUIS			





<b>PROYECTO:</b>	Proyecto Resclima Durán		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas								
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	EG1-H2-BR			Cantón	Durán								
<b>FECHA:</b>	25 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>	7803-7807		<b>COORDENADAS</b>	Localidad	Las Terrazas									
<b>LITOLOGÍA</b>	Brechas de clastos cm, lutitas, areniscas y tobas.		<b>NATURALEZA</b>	Volcano Sedimentario			<b>POTENCIA</b>	11,60 m		<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	MORFOLOGÍA	ESPEJOR					
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS		<b>OTROS</b> Meteorización esferoidal										
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1		GRANDES 1 - 3		MEDIOS 3 - 10		PEQUEÑOS 10 - 30		MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60					
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I		ALGO METEORIZADA II		MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI						
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)			HÚMEDO		GOTEOS		FLUJO		CAUDAL ESTIMADO					
<b>OBSERVACIONES</b>						RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O		15.7		14.3		17.3		19.3		19.7	
<b>FOTO</b>						<b>CROQUIS</b>											





<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
<b>REALIZADO POR:</b>	AV-KZ		<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	EG-21			Cantón	Durán	
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>	Cerro Las Cabras		<b>COORDENADAS</b>		X :		
<b>LITOLOGÍA</b>	Arenisca Media- Base de Lutita		NATURALEZA Sedimentaria	POTENCIA >6 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b> arena gravosa		MORFOLOGÍA Pendientes inclinada	ESPESOR entre 2 y 3 m		
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS		OTROS			
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI		
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
<b>OBSERVACIONES</b> Fuerte meteorización posiblemente producido por actividad antropica					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR 0	24	23	20	13	15
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>					



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas
				CÓDIGO :	EG-21			Cantón	Durán
<b>REALIZADO POR:</b>	AV-KZ-JM		<b>HOJA/PLANO :</b>	Cerro Las Cabras				Localidad	
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>				<b>COORDENADAS</b>	X :	
								Y :	
							Z :		
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutita Silicificada	NATURALEZA Sedimentaria	POTENCIA >5m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b> arena gravosa			MORFOLOGÍA Pendientes inclinada	ESPESOR entre 2 y 3 m	
<b>ESTRUCTURAS</b>	Diaclasas	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS			OTROS		
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS < 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI		
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
<b>OBSERVACIONES</b> Fuerte meteorización posiblemente producido por actividad antropica				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	24	23	20	13	15
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>					



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA : 1	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas
			CÓDIGO :	EG-22		Cantón	Durán
<b>REALIZADO POR:</b>	AV-KZ-JM		<b>HOJA/PLANO :</b>	Cerro Las Cabras		Localidad	
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>			X :	628001
						Y :	9759677
						Z :	
<b>LITOLOGÍA</b>	Arenisca Gruesa	<b>NATURALEZA</b> Sedimentaria	<b>POTENCIA</b> >6 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b> arena gravosa		<b>MORFOLOGÍA</b> Pendientes inclinada	<b>ESPESOR</b> entre 2 y 3 m
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS	OTROS			
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS 30 - 60	MUY BRECHIFICADA > 60
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO
<b>OBSERVACIONES</b> Pequeño afloramiento de arenisca media a gruesa muy meteorizada con vegetación				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	24	23	20
						13	15
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>			





<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas		
				CÓDIGO :	EG-21			Cantón	Durán		
<b>REALIZADO POR:</b>	AV-KZ		<b>HOJA/PLANO :</b>	Cerro Las Cabras				Localidad			
<b>FECHA:</b>			<b>FOTOS :</b>					<b>COORDENADAS</b>	X :		
								Y :			
								Z :			
<b>LITOLOGÍA</b>	Arenisca Media- Base de Lutita		NATURALEZA Sedimentaria	POTENCIA >6 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b> arena gravosa			MORFOLOGÍA Pendientes inclinada	ESPESOR entre 2 y 3 m		
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES		FALLAS		COLUMNAS			OTROS			
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS	MUY BRECHIFICADA > 60			
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI			
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)			HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
<b>OBSERVACIONES</b> Fuerte meteorización posiblemente producido por actividad antropica					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	24	23	20	13	15	
<b>FOTO</b>					<b>CROQUIS</b>						



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	2		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
				CÓDIGO :	EGE04-LS			Cantón	Durán	
<b>REALIZADO POR:</b>	ESPOL		<b>HOJA/PLANO :</b>				Localidad			
<b>FECHA:</b>	26 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>				X :	627865		
							Y :	9759280		
							Z :			
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutita Silicificada	<b>NATURALEZA</b> Sedimentaria	<b>POTENCIA</b> 6 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>		<b>MORFOLOGÍA</b>		<b>ESPESOR</b>		
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS	<b>OTROS</b>						
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS	MUY BRECHIFICADA > 60			
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI				
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO				
<b>OBSERVACIONES</b>				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	47.9	28.3	28.1	31.7	31.7	
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>						



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
				CÓDIGO :	EG6-LS			Cantón	Durán	
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>					Localidad		
<b>FECHA:</b>	27 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>					X :	627778	
								Y :	9759322	
								Z :		
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutita Silicificada	<b>NATURALEZA</b>	Sedimentario	<b>POTENCIA</b>	30 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>		<b>MORFOLOGÍA</b>	Quebra ESPESOR	
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES x	FALLAS		COLUMNAS		<b>OTROS</b>				
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS		MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V			SUELO RESIDUAL VI		
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
OBSERVACIONES				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR 0		47	42	37	49	40
FOTO				CROQUIS						



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	5	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
				CÓDIGO :	EG6-H5-LS		Cantón	Durán	
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>			Localidad			
<b>FECHA:</b>	27 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>			<b>COORDENADAS</b>	X :	627802	
							Y :	9759304	
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutita silicificada.	<b>NATURALEZA</b> Sedimentario	<b>POTENCIA</b> 3 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	Talud	<b>MORFOLOGÍA</b>		<b>ESPESOR</b>	
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS		COLUMNAS		<b>OTROS</b>			
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30		MUY BRECHIFICADA > 60	
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI	
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
<b>OBSERVACIONES</b>				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	59.8	51	53	48.4	42
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>					





<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1		<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>	CÓDIGO :	EG5-H3-LS			Cantón	Durán	
<b>FECHA:</b>	27 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>	7803-7807		<b>COORDENADAS</b>	Localidad	Las Terrazas		
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutita gris muy compacta al estado de pedernal	<b>NATURALEZA</b>	Sedimentario		<b>POTENCIA</b> 14,50 m		<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>	X :	627778	
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS	<b>OTROS</b>		Y :	9759322		Z :	
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS	MUY BRECHIFICADA > 60			
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI				
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO				
<b>OBSERVACIONES</b>				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	62	54.8	66.6	56.9	54.6	
<b>FOTO</b>				<b>CROQUIS</b>						



<b>PROYECTO:</b>	Tesis SMR-C		<b>ESTACIÓN :</b>	N° HOJA :	1	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	Provincia	Guayas	
				CÓDIGO :	EG4-H1-LA		Cantón	Durán	
<b>REALIZADO POR:</b>			<b>HOJA/PLANO :</b>			<b>COORDENADAS</b>	Localidad		
<b>FECHA:</b>	27 de abril del 2018		<b>FOTOS :</b>				X :	627864	
							Y :	9759279	
<b>LITOLOGÍA</b>	Lutitas y Areniscas	<b>NATURALEZA</b> Marino	<b>POTENCIA</b> 6 m	<b>DEPÓSITOS SUPERFICIALES</b>		<b>MORFOLOGÍA</b>	<b>ESPESOR</b> centimétricos		
<b>ESTRUCTURAS</b>	PLIEGUES	FALLAS	COLUMNAS		OTROS				
<b>FRACTURACIÓN</b>	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS	MUY BRECHIFICADA > 60		
<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI			
<b>HIDROGEOLOGÍA</b>	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO			
OBSERVACIONES				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETR O	33.5	37.6	39.7	26.2	25
FOTO				CROQUIS					

