

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERO GEÓLOGO**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**



**DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS:  
DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS  
GEOMORFOLÓGICAS, ESTRATIGRÁFICAS Y SEDIMENTARIAS  
DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS, SAN CRISTÓBAL  
VERAPAZ, ALTA VERAPAZ**

**MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG**

**COBÁN, ALTA VERAPAZ, ENERO DE 2018**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE INGENIERO GEÓLOGO**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS:  
DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS  
GEOMORFOLÓGICAS, ESTRATIGRÁFICAS Y SEDIMENTARIAS  
DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS, SAN CRISTÓBAL  
VERAPAZ, ALTA VERAPAZ**

**PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE**

**POR**

**MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG  
CARNÉ 200640079**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**COBÁN ALTA VERAPAZ, ENERO DE 2018**

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

### **RECTOR MAGNÍFICO**

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

### **CONSEJO DIRECTIVO**

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
SECRETARIA:	Lcda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE DE DOCENTES:	Ing. Geól. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	PEM. César Oswaldo Bol Cú Br. Fredy Enrique Gereda Milián

### **COORDINADOR ACADÉMICO**

Ing. Ind. Francisco David Ruiz Herrera

### **COORDINADOR DE LA CARRERA**

Ing. Geól. Sergio David Morán Ical

### **COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

COORDINADOR:	Ing. Geól. Sergio David Morán Ical
SECRETARIO:	Ing. Geól. Silvia Friné Cortez Bendfeldt
VOCAL:	Ing. Geól. Luis Alfonso Laj Hun

### **REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO**

Ing. Civil Msc Julio Enrique Reynosa Mejía

### **REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Ing. Geól. Silvia Friné Cortez Bendfeldt

### **ASESOR**

Ing. Geól. Sergio David Morán Ical

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX: 79 566 600 Ext. 209  
Guatemala, C. A.  
c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

Ref. 15-CG-112/2017  
05 de abril de 2017

Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación del **T.U. GEÓL. MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG**, carné n.º **200640079**, titulado: **“DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS, ESTRATIGRÁFICAS Y SEDIMENTARIAS DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS, SAN CRISTÓBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
Ing. Geól Sergio David Moran Icaj  
Docente Asesor  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX: 79 566 600 Ext. 209  
Guatemala, C. A.  
c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)

Ref. 15-CG-309/2017  
23 de octubre de 2017

Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEÓL. MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG**, carné n.º **200640079**, titulado: **“DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS, ESTRATIGRÁFICAS Y SEDIMENTARIAS DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS, SAN CRISTÓBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
Ing. Geol. Silvia Frine Cortez Bendfeldt  
Docente Revisora  
Carrera Geología  
CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO  
DEL NORTE (CUNOR)  
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX: 79 566 600 Ext. 209  
Guatemala, C. A.  
c. e.: [geologiausac@gmail.com](mailto:geologiausac@gmail.com)


Ref. 15-CG-327/2017  
13 de noviembre de 2017

Señores  
Comisión Trabajos de Graduación  
Carrera Geología  
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio remito el informe Final de Trabajo de Graduación a nivel de grado titulado: **“DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS, ESTRATIGRÁFICAS Y SEDIMENTARIAS DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS, SAN CRISTÓBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ”**, realizado por el T.U. **GEÓL. MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG**, carné n.º **200640079**, el cual ya fue revisado por la **COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO** de la Carrera de Geología, quienes consideramos llena los requisitos establecidos para su aprobación.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

  
Ing. Civil Msc Julio Enrique Reynosa Mejía  
Comisión Redacción y Estilo  
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

## HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: "DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: Determinación de las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz", como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Geólogo.



Miguel Angel Aguilar Hengstenberg  
Carné 200640079

## **RESPONSABILIDAD**

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor, la comisión de redacción y estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”.

Aprobado en punto SEGUNDO, Inciso 2.4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de sesión extraordinaria de consejo directivo de fecha 18 de julio del año 2012.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

Dios,

Por otorgarme la oportunidad de alcanzar mis objetivos y rodearme de una gran familia y grandes amistades.

Mis padres,

Por el apoyo incondicional durante toda mi vida y sobre todo a lo largo de la carrera universitaria, por su ayuda, por sus consejos y bendiciones, han sido siempre un ejemplo a seguir.

Mi esposa,

Por su apoyo incondicional en la última etapa de mi carrera universitaria, por ser un pilar más que ha llegado a mi vida para fortalecerme y motivarme a seguir adelante.

Mis hermanos,

Que siempre me dieron su apoyo y cariño cuando lo necesité.

Mis amigos y de más familia,

Que cerca o lejos siempre estuvieron al pendiente de mí.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE MAPAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICAS	v
ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS EN ESTE TRABAJO	Vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	1

## CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1	Antecedentes	3
1.2	Justificación	4
1.3	Planteamiento del problema	5
1.4	Hipótesis	5
1.5	Objetivos	6
	1.5.1 General	6
	1.5.2 Específicos	6
1.6	Límites y alcances	6
	1.6.1 Límites	7
	a. Temporal	7
	b. Espacial	7
	1.6.2 Alcances	8
1.7	Localización y extensión del área	8
1.8	Accesibilidad	9
1.9	Marco geológico regional	10
	1.9.1 Estratigrafía	10
	a. Grupo Santa Rosa	12
	b. Lutita Táctic	13
	c. Caliza Chochal	14
	d. Formación Todos Santos	15
	e. Formación Cobán	15
	f. Formación Campur	16
	1.9.2 Geología estructural	17
1.10	Revisión de literatura	20

1.10.1	Análisis modal	20
1.10.2	Columna estratigráfica	21
1.10.3	Clasto	22
1.10.4	Estratigrafía	22
1.10.5	Deslizamientos	23
1.10.6	Avalanchas	23
1.10.7	Flujos	24
1.10.8	<i>Rock Mass Rating –RMR-</i>	25
1.10.9	Resistencia a compresión simple – <i>UCS-</i>	26
1.10.10	<i>Rock Quality Designation –RQD-</i>	26
1.10.11	Lóbulo	28

## CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1	Generalidades	29
2.2	Marco metodológico	29
2.2.1	Etapas de recopilación y análisis bibliográfico	30
2.2.2	Trabajo de campo	30
	a. Cartografía	30
	b. Levantamiento lito-estratigráfico	33
	c. Conteo de clastos	34
2.2.3	Trabajo de laboratorio	35
2.2.4	Etapas de gabinete	35

## CAPÍTULO 3 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1	Generalidades	39
3.2	Geología local	39
3.2.1	Litología	40
	a. Lutita Pizarrosa (PT)	41
	b. Caliza (PC)	43
	c. Caliza dolomítica microclástica (KCo)	45
	d. Yeso (KCo)	46
	e. Lutita calcárea (KCo)	49
	f. Calizas y lutitas calcáreas (KCo)	51
	g. Caliza dolomítica fosilífera (KCo)	53
	h. Calizas cristalinas (KCo)	55
	i. Caliza arrecifal (KCa)	56
	j. Ceniza volcánica (Qc)	58
	k. Aluviones (Qal)	59
	i. Coluviones (Qcol)	60

3.2.2	Geología estructural	61
3.3	Calidad del macizo rocoso	62
3.4	Modelo de elevación	67
3.5	Mapa de pendientes	69
3.6	Geomorfología	70
3.6.1	Mapa geomorfológico	70
a.	Unidad de origen degradacional	70
b.	Unidad de origen agradacional	71
c.	Unidad de origen estructural	71
d.	Unidad de origen antrópico	72
3.7	Caracterización del deslizamiento	72
3.7.1	Estructura	73
a.	Zona proximal	73
b.	Zona media	74
c.	Zona distal	74
3.7.2	Geometría y morfometría	74
3.7.3	Caracterización del movimiento	84
a.	Tipo de material	84
b.	Caracterización granulométrica	91
c.	Humedad	95
d.	Secuencia de repetición	96
e.	Velocidad del movimiento	96
f.	Estilo	97
g.	Estado de actividad	97
3.7.4	Proceso de falla	98
a.	Factores condicionantes	98
b.	Factores detonantes	101
3.5	Propuesta de modelo dinámico	102
	CONCLUSIONES	107
	General	107
	Específicas	108
	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA	115
	ANEXOS	119

## ÍNDICE DE TABLAS

1	Vértices en área de investigación	9
2	Muestras para análisis microscópico	40
3	Ubicación donde se determinó el <i>RMR</i>	63
4	Ponderación de macizo rocoso	64
5	Índice de resistencias	65
6	Índice de intemperización	66
7	Clases de macizo rocoso	66
8	Calidad de macizo rocoso	67

9	Parámetros característicos de los 3 tipos de control geomórfico	76
10	Parámetros morfométricos para el deslizamiento Los Chorros	78
11	Índices de movilidad y descripción de forma para el deslizamiento Los Chorros	78
12	Cálculo de volúmenes desplazados en deslizamiento Los Chorros	79
13	Conteo sistemático de puntos	84
14	Resultados de conteo sistemático	87
15	Medidas de tendencia central y dispersión	93
16	Resultados de aforo volumétrico	95
17	Velocidad de los movimientos de tierra	97
18	Resumen de caracterización del movimiento en masa	98
19	Caracterización del deslizamiento	104

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Afloramiento de lutitas y <i>chert</i>	41
2	Vista macroscópica de lutitas pizarrosas	42
3	Vista microscópica de lutita pizarrosa	43
4	Vista macroscópica de caliza pérmica	44
5	Vista microscópica de caliza pérmica	44
6	Afloramiento de caliza microclástica	45
7	Vista microscópica de caliza microclástica	46
8	Afloramiento de yeso	47
9	Exposición de yeso	48
10	Vista microscópica de yeso	49
11	Afloramiento de lutita calcárea	49
12	Contacto de lutita calcárea y caliza dolomítica	50
13	Vista microscópica de lutita calcárea	50
14	Afloramiento de lutita calcoarenosas	51
15	Vista microscópica de lutitas calcoarenosas	52
16	Zona de <i>gouge</i>	53
17	Vista macroscópica de caliza fosilífera	54
18	Vista microscópica de caliza fosilífera	55
19	Vista microscópica de calizas cristalinas	56
20	Afloramiento de caliza arrecifal	57
21	Vista microscópica de caliza arrecifal	58
22	Afloramiento ceniza volcánica	59
23	Afloramiento de aluviones	59
24	Afloramiento de coluviones	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

1	Localización del área de investigación	8
2	Estratigrafía del Bloque Maya	11
3	Correlación estratigráfica Grupo Santa Rosa	14
4	Comparación estratigráfica Guatemala este central	16
5	Rasgos tectónicos regionales	17
6	Traza de falla Chixoy-Polochic	19
7	Rasgos asociados al límite transformante de placas Norte América y Caribe	19
8	Cinemática de falla Chixoy-Polochic	20
9	Métodos ópticos o estimaciones visuales	21
10	Avalanchas	24
11	Cálculo de <i>RQD</i> en testigos	27
12	Cálculo de <i>RQD</i> en segmento longitudinal de una pared expuesta	27
13	Clasificación de mapas geomorfológicos	32
14	Clasificación del riesgo de deslizamiento	33
15	Conteo de puntos	35
16	Elipse de deformación	62
17	Estructura de deslizamiento Los Chorros	73
18	Configuraciones que una avalancha puede asumir como resultado del control geomorfológico	75
19	Ubicación de conteo de puntos	85
20	Corona del deslizamiento Los Chorros	86
21	Resultados de <i>Gradistats 4.0</i>	94
22	Clasificación de riesgo de deslizamiento	100
23	Secuencia de ocurrencia del deslizamiento Los Chorros	105

## ÍNDICE DE MAPAS

1	Mapa regional de accesos	9
2	Mapa local de accesos al área de investigación	10
3	Modelo de elevación Los Chorros	68
4	Mapa de pendientes Los Chorros	69
5	Mapa de riesgo: litología versus pendientes	99

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

1	Parámetros relacionados a la movilidad versus volumen desplazado	80
2	Parámetros relacionados a la movilidad versus altura	81
3	Parámetros morfométricos e índices de movilidad	82
4	Índices de forma	83
5	Conteo sistemático para evento A	88
6	Conteo sistemático para evento B	88

<b>7</b>	Conteo sistemático para evento C	89
<b>8</b>	Conteo sistemático para evento D	90
<b>9</b>	Conteo sistemático para evento E	91
<b>10</b>	Granulometría por evento del deslizamiento Los Chorros	92
<b>11</b>	Granulometría del deslizamiento Los Chorros	93

## ABREVIATURAS Y SIGLAS

$\sigma_1$	Esfuerzo principal 1
$\sigma_2$	Esfuerzo principal 2
$\sigma_3$	Esfuerzo principal 3
$\sigma$	Incerteza
$\phi$	<i>Phi</i>
$10^x$	Notación científica de base 10
<b>A.V.</b>	Alta Verapaz
<b>C.A.</b>	Centro América
<b>CA</b>	Rutas Centroamericanas
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de desastres
<b>CUNOR</b>	Centro Universitario del Norte
<b>D</b>	Longitud de la avalancha de rocas
<b>dic</b>	diciembre
<b>E</b>	Este
<b>ET.AL.</b>	y otros
<b>gal</b>	galón
<b>gal/min</b>	galón por minuto
<b>H</b>	Diferencia de elevación
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional
<b>ISRM</b>	<i>International Society for Rock Mechanics</i> (por sus siglas en inglés)
<b>jun</b>	Junio
<b>KCa</b>	Cretácico Campur
<b>KCo</b>	Cretácico Cobán
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>L</b>	Distancia recorrida por la avalancha
<b>L<sub>l</sub></b>	Distancia recorrida por la avalancha de bajo control geomórfico
<b>L<sub>m</sub></b>	Distancia recorrida por la avalancha de medio control geomórfico
<b>L<sub>h</sub></b>	Distancia recorrida por la avalancha de alto control geomórfico
<b>LC-MA</b>	Los Chorros-Miguel Aguilar
<b>Le</b>	Distancia excesiva recorrida
<b>m</b>	metro
<b>M</b>	media
<b>Ma</b>	Millones de años
<b>m/s</b>	metro/segundo
<b>m<sup>3</sup></b>	metro cúbico
<b>min</b>	minuto
<b>mm</b>	milímetro
<b>msnm</b>	metro sobre el nivel del mar
<b>MPa</b>	megapascal
<b>N</b>	Norte



<b>NE</b>	Noreste
<b>NO</b>	Noroeste
<b>O</b>	Oeste
<b>Pa</b>	Número de puntos de malla que sobrepone a las partículas
<b>PC</b>	Pérmico Chochal
<b>Pt</b>	Número total de puntos en la malla utilizada.
<b>PT</b>	Pérmico Táctic
<b>Q</b>	Caudal
<b>Q.</b>	Quebrada
<b>Qal</b>	Cuaternario Aluvión
<b>Qc</b>	Cuaternario ceniza
<b>QCol</b>	Cuaternario Coluvión
<b>RMR</b>	<i>Rock Mass Rating</i> (por sus siglas en inglés)
<b>RN</b>	Rutas Nacionales
<b>RQD</b>	<i>Rock Quality Designation</i> (por sus siglas en inglés)
<b>S</b>	Sur
<b>SE</b>	Sureste
<b>SO</b>	Suroeste
<b>T</b>	Tiempo
<b>Tan</b>	Tangente
<b>UCS</b>	<i>Uniaxial Compressive Strength</i> (por sus siglas en inglés)
<b>USAC</b>	Universidad San Carlos de Guatemala
<b>UTM</b>	<i>Universal Transverse Mercator</i> (por sus siglas en inglés)
<b>V</b>	Volumen
<b>Va</b>	Volumen ocupado por partículas
<b>Vacum</b>	Volumen acumulado
<b>Vd</b>	Volumen desplazado
<b>VS</b>	Versus
<b>Vt</b>	Volumen total analizado
<b>X</b>	Coordenada Este
<b>Y</b>	Coordenada Norte
<b>Z</b>	Altura respecto a nivel del mar

## RESUMEN

El trabajo de investigación titulado DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: Determinación de las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz, permite establecer la caracterización del deslizamiento y sus factores condicionantes y desencadenantes, esto a razón que este tipo de fenómenos son poco estudiados en Guatemala.

La geología y estratigrafía del lugar está representada por rocas del periodo Pérmico en la base de la columna, son estas lutitas pizarrosas y calizas correlacionadas con las Formaciones Táctic y Chochal respectivamente, seguido por una secuencia carbonatica asociada a la Formación Cobán y en el techo de toda esta secuencia calizas arrecífales de la Formación Cámpur, posterior a estas todos los depósitos cuaternarios como ceniza volcánica, aluviones y coluviones.

Estructuralmente el modelo representado por una elipse de deformación muestra claramente un movimiento sinistral originado por la cercanía a la zona de falla Chixoy-Polochic, la cual cruza en sentido este-oeste el sur de la zona de estudio. Las estructuras geológicas presentes en el área son representativas ya que colaboran con el confinamiento del deslizamiento.

Desde el punto de vista geotécnico se realizó el cálculo de *rock mass rating RMR* básico propuesto por *Bieniawski (1989)* para establecer con ello la calidad del macizo rocoso de las unidades litológicas consolidadas que existen en el cerro Los Chorros, información que puede ser de mucha ayuda para

futuras alternativas de infraestructura y mitigación en el sector; la calidad del macizo rocoso presentó resultados poco favorables que corresponden a clase de roca mala y regular.

La geomorfología del lugar está claramente marcada por los eventos ocurridos, no solamente por el deslizamiento Los Chorros, sino también, por eventos similares ocurridos previamente a éste, evidenciado en la geomorfología del lugar.

El análisis geomorfológico, enfocado en el depósito más reciente, permitió definir los lóbulos existentes en los cuales se realizó cada uno de los conteos sistemáticos y permitió determinar su proveniencia y ubicación en el anfiteatro.

La caracterización del deslizamiento estableció características y parámetros geométricos y morfométricos que permitió el análisis de índices de forma y movilidad del evento, llevó con esto a la caracterización del movimiento en el cual se estableció los porcentajes litológicos y granulometría de lóbulos, permitió con ello establecer el comportamiento del material arrastrado, el resultado fue un comportamiento representativo de los depósitos de avalancha que sin importar lo caótico del movimiento, este representa claramente la misma disposición estratigráfica de la corona, en función a estos resultados se estableció que su configuración corresponde a un movimiento de avalancha de control geomórfico de alta movilidad con velocidades entre 25 m/s a 32 m/s, determinado por un control de baja disipación de energía y un volumen desplazado de  $16,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

## INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son comunes en Guatemala como en muchas partes del mundo, un aspecto que llama la atención es la facilidad de ocurrencia y el poco interés que se da a los mismos.

Es por ello que esta investigación se centró en establecer el tipo de deslizamiento, se determinaron los factores condicionantes y desencadenantes de su ocurrencia y las características de su comportamiento, para lograrlo se enfocaron aspectos como la geología y estratigrafía del lugar, la geomorfología resultante una vez ocurrido el deslizamiento, la calidad del macizo rocoso en el anfiteatro y la caracterización del deslizamiento, todo ello en conjunto proporcionó las herramientas con las cuales se describió la dinámica del movimiento.

Previo a esta investigación existen trabajos elaborados con otros fines, se puede mencionar los mapas geológicos y topográficos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) , perfil geológico del túnel de la hidroeléctrica Chixoy, que su traza cruza oblicuo a la dirección del deslizamiento Los Chorros, así también otras investigaciones realizadas por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), entre otros realizados por estudiantes de la Universidad San Carlos de Guatemala (USAC).

En consideración a lo anterior se planteó 6 objetivos específicos y 1 objetivo general que permitió involucrar toda la información pertinente para determinar la dinámica del deslizamiento Los Chorros.



# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

En el deslizamiento Los Chorros y sus alrededores se han llevado a cabo estudios de riesgo, estos dirigidos por instituciones gubernamentales y no gubernamentales con el fin de identificar los principales riesgos en el área, dentro de estos se pueden hacer mención de:

Dirección General de Caminos, informe sobre deslizamiento de Los Chorros, San Cristóbal Verapaz, división de mantenimiento por administración, finca nacional La Aurora, zona 13, Guatemala C. A. 2009.

Gobierno de Guatemala, informe técnico preliminar evento km 205 CONRED, 2009.

Así también se han elaborado investigaciones por parte de estudiantes universitarios de Centro Universitario del Norte CUNOR.

Sergio Estuardo Solares. Ruta Nacional 7W: Hacia la búsqueda de una solución definitiva. Universidad San Carlos de Guatemala. CUNOR. 2012, cuyo objetivo fue proveer una solución definitiva al problema que género el deslizamiento Los Chorros a la ruta nacional RN-7W. Y un levantamiento estratigráfico en los alrededores del área

de los Chorros, realizado por estudiantes de la carrera de Geología del Centro Universitario del Norte CUNOR USAC, 2012.

Entre otras investigaciones de menor envergadura, sobre hidrología y meteorología del lugar, los cuales tuvieron poca relevancia para los objetivos de esta investigación.

## **1.2 Justificación**

El análisis e investigación de fenómenos como los deslizamientos son poco estudiados en Guatemala, esta investigación se centro en implementar nuevas metodologías para el estudio de estos fenómenos y a partir de ella entender de mejor forma el suceso y su futuro comportamiento.

Científicamente el trabajo muestra mucho interés ya que se implementó una metodología que es utilizada mayormente en depósitos sedimentarios, pero que recientemente se ha implementado para entender fenómenos de movimientos rocosos y así determinar sus características, centrado en la evaluación de su comportamiento y dinámica, motivado con ello se propuso la implementación de nuevas técnicas de estudio e investigación en Guatemala.

El sector geológico se beneficia con la incursión de técnicas poco utilizadas en Guatemala como el conteo de clastos y análisis estadístico aplicado a deslizamientos y movimientos de masas rocosas, con el fin de determinar la dinámica de éstos.

El conteo de clastos permitió establecer las relaciones estratigráficas en los lóbulos del depósito originado por el deslizamiento Los Chorros y la estratigrafía del anfiteatro, para ello se determinó la secuencia estratigráfica del mismo, en el cual predominan calizas

cretácicas y yeso, dentro de las calizas se diferenciaron distintos tipos al definir con detalle la ubicación y proveniencia del material, una de las principales características en la determinación y descripción de la dinámica del deslizamiento.

### **1.3 Planteamiento del problema**

El deslizamiento Los Chorros ocurrió el 4 enero de 2009, en el cerro Los Chorros, en el municipio de San Cristóbal Verapaz y es considerado como uno de los deslizamientos más significativos ocurridos en Guatemala.

Esta investigación describe por medio de una observación y análisis sistemático estadístico de conteo de clastos en los lóbulos resultantes del deslizamiento Los Chorros la dinámica del mismo.

¿Cuál es la dinámica del deslizamiento que se dio en el área de Los Chorros, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz?

### **1.4 Hipótesis**

Las hipótesis por su clasificación pueden ser correlacionales, descriptivas o causales, en este caso, por el tipo de investigación la hipótesis es del tipo descriptiva, en la cual se da una explicación tentativa sobre las posibles relaciones de las variables, en éste caso la estratigrafía de la corona y la estratigrafía de los lóbulos, para ello se toman las variables del contexto donde se observaron, este tipo de hipótesis indica la presencia de algún fenómeno o acontecimiento, en este caso el deslizamiento Los Chorros.

El arreglo sedimentológico de los depósitos del deslizamiento Los Chorros posee un ordenamiento de flujo del tipo avalancha, el cual consiste en la preservación de la estratigrafía de la corona.



## 1.5 Objetivos

A continuación se describen los objetivos de la investigación, seis específicos y uno general.

### 1.5.1 General

Determinar la dinámica y las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, en el municipio de San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz.

### 1.5.2 Específicos

- a. Elaborar un mapa geológico con las características litológicas y estructurales del lugar
- b. Elaborar un mapa geomorfológico con los lóbulos del depósito y otras geo-formas representativas
- c. Elaborar una columna lito-estratigráfica de la corona del deslizamiento
- d. Analizar estadísticamente la distribución y composición litológica de los lóbulos por medio de la observación sistemática de conteo de clastos
- e. Proponer el modelo dinámico del deslizamiento Los Chorros
- f. Determinar el índice de *RMR* básico con el uso de la metodología propuesta por *Bieniawski* para las litologías presentes en la corona del deslizamiento

## 1.6 Límites y alcances

Se establecieron los límites y alcances de la investigación, los cuales se describen individualmente de la siguiente manera:

### **1.6.1 Límites**

La investigación está limitada estratigráficamente por la geología del lugar, la cual presenta rocas carbonáticas y siliciclásticas de edad Pérmica y Cretácica, depósitos recientes de edad Cuaternaria, por tanto, se establecen como límites para la investigación eventos del Pérmico hasta el Cuaternario.

En cuanto al aspecto investigativo, el proyecto se limitó a la caracterización completa del deslizamiento, al considerar aspectos como la geología, estratigrafía, geomorfología, estadística y parámetros geométricos y morfométricos.

#### **a. Temporal**

La investigación tuvo como límite temporal el tiempo de duración desde su planificación, aprobación hasta la culminación y presentación del informe final en el año 2017.

#### **b. Espacial**

La investigación se limitó espacialmente por una superficie de 10 km<sup>2</sup>, la cual está conformada por el deslizamiento Los Chorros, que incluye la corona, el depósito de flujo y el valle confinante del mismo, todo ello expuesto por medio de un mapa y perfil geológico a escala 1:25 000 y el mapa geomorfológico a escala 1:10 000.

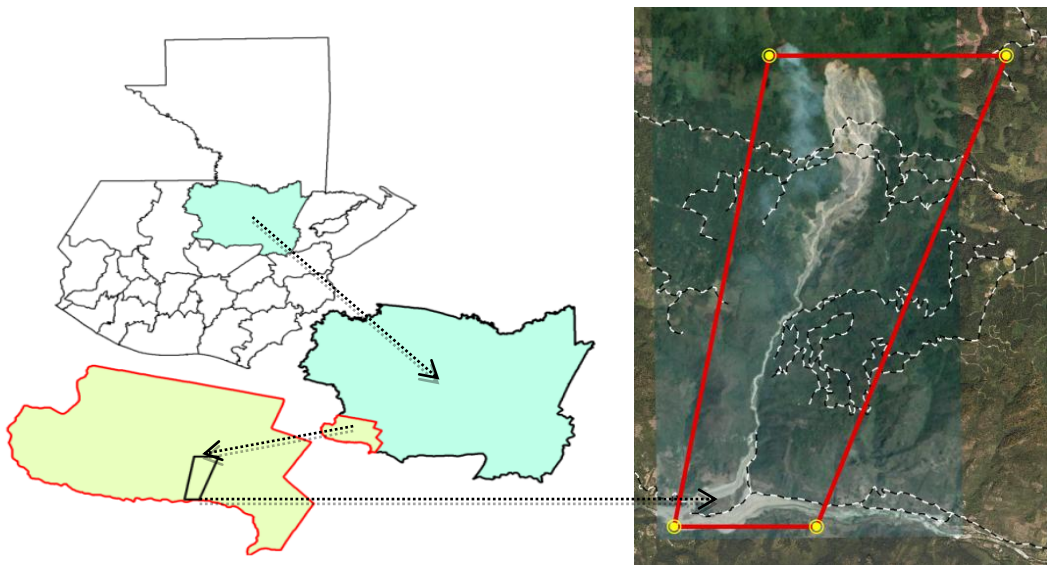
### 1.6.2 Alcances

La investigación fue un estudio descriptivo y explicativo, en el cual se realizó una descripción de las condiciones geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias para determinar la dinámica de flujo, para el deslizamiento Los Chorros.

### 1.7 Localización y extensión del área

El área de investigación se localiza en cercanías del cerro Los Chorros, en el municipio de San Cristóbal Verapaz, en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala. Geográficamente se localiza en la hoja topográfica del IGN, TIRITIBOL 2062 II, escala 1:50 000. En la figura 1 se observa la ubicación espacial del deslizamiento.

**FIGURA 1  
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**



**Fuente:** Elaboración propia, julio de 2016.

El área de investigación está representada por un polígono cuyos vértices se presentan en la tabla 1 y posee una extensión territorial de 10 km<sup>2</sup>.

**TABLA 1**  
**VÉRTICES EN ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

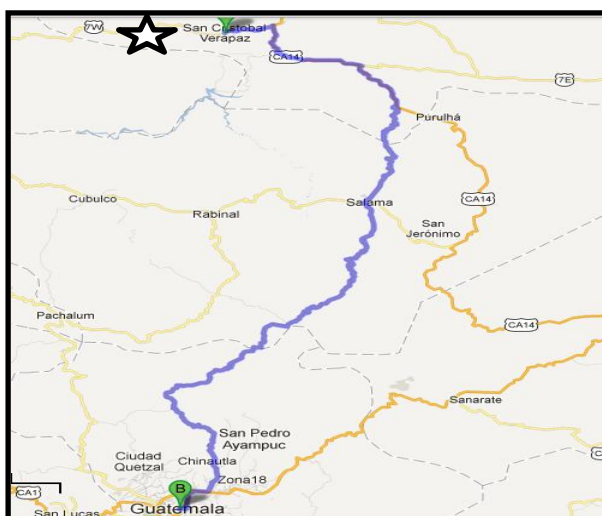
VÉRTICE	COORDENADAS <i>UTM</i>	
	NORTE	ESTE
1	1702500	764000
2	1702500	766500
3	1697500	764500
4	1697500	763000

**Fuente:** Elaboración propia, octubre de 2012.

### 1.8 Accesibilidad

La principal vía de acceso al área de investigación es la carretera RN-7W que conduce de Chicamán en el departamento de Quiché a San Cristóbal Verapaz en el departamento de Alta Verapaz.

**MAPA 1**  
**MAPA REGIONAL DE ACCESOS**



**Fuente:** Modificado de *Google Earth*, 22 de octubre de 2012.

Se localiza a una distancia desde la ciudad de Guatemala de 205 km, por la ruta CA14 hacia San Cristóbal Verapaz y luego por la ruta RN-7W hasta el área de investigación como se muestra en el mapa 1.

Se localiza a 29 km por la ruta CA14, desde Cobán a San Cristóbal Verapaz y luego por la ruta RN-7W hasta el área de investigación (mapa 2), así también existen otras vías de terracería que permiten el acceso al área de estudio por la aldea de Agua Blanca.

## MAPA 2 MAPA LOCAL DE ACCESOS



Fuente: Modificado de *Google Earth*, 30 de octubre de 2017.

### 1.9 Marco geológico regional

La geología de Guatemala se ha caracterizado por ser muy diversa, cuenta con zonas geológicas bien marcadas, rocas de tipo sedimentario, metamórfico e ígneo, es afectada estructuralmente por zonas de sutura y subducción, zonas que permiten la división entre 3 placas tectónicas. A continuación se detalla la estratigrafía y la geología estructural que afecta la región.

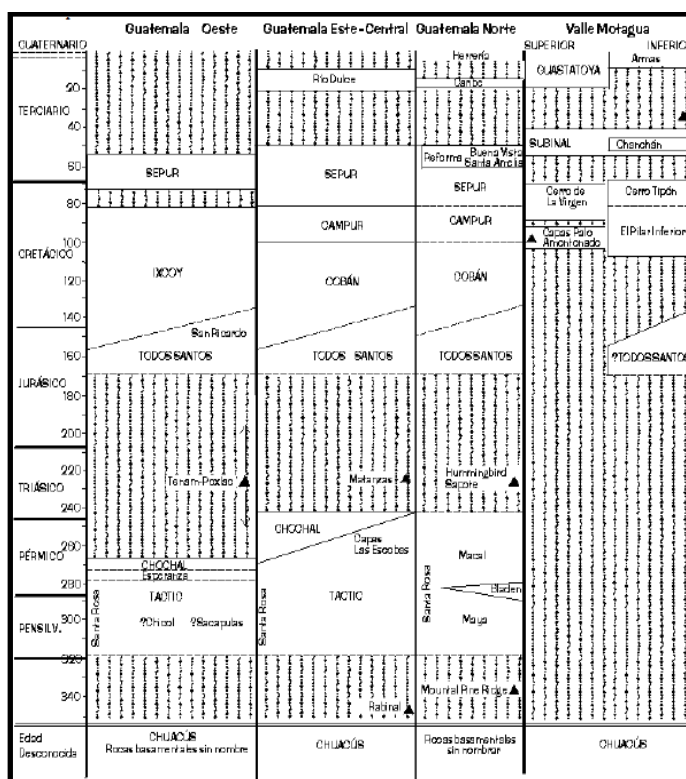
#### 1.9.1 Estratigrafía

La estratigrafía de Guatemala cambia según la ubicación, es conveniente mencionar que se dividen en 2

bloques, el Bloque Maya y el Bloque Chortís divididos por la zona de sutura Motagua.

El deslizamiento Los Chorros se localiza en el área de Guatemala este-central (figura 2) dentro del Bloque Maya, al norte de la zona de sutura Motagua, dentro de la región fisiográfica de las tierras altas sedimentarias en la zona montañosa Cobán-Senahú, caracterizada por cerros y lomas cársticas.

**FIGURA 2  
ESTRATIGRAFÍA DEL BLOQUE MAYA**



**Fuente:** *The Geology of North America, Vol. H- The Caribbean Region, Chapter 3 Northern Central America; The Maya and Chortis Blocks. 1990.*

Se observa en la figura 2 y según Donnelly ET.AL. (1990) se refiere a la estratigrafía predominante en esta

región a un basamento metamórfico denominado Grupo Chuacús, sobre el cual descansa el Grupo Santa Rosa de edad Paleozoico Tardío (Pensilvánico-Pérmico), subyacentes a Caliza Chochal de edad Pérmica, Formación Todos Santos del Jurásico-Cretácico, Formaciones Cobán y Cámpur del Cretácico, la Formación Sepur del Cretácico Tardío-Terciario Temprano, formación Río Dulce del Terciario y los depósitos cuaternarios como cenizas volcánicas, aluviones y coluviones.

La geología regional se detalla con una breve descripción de la estratigrafía de Guatemala Este Central.

**a. Grupo Santa Rosa**

Varios autores han estudiado el Grupo Santa Rosa definiéndolo de la siguiente manera:

Las rocas sedimentarias clásticas del Paleozoico tardío del bloque Maya generalmente se conocen como Grupo Santa Rosa. La nomenclatura de esta serie ha sido controversial. Dollfus y de Montserrat (1868) introdujeron el término para lo que consideraron eran las rocas sedimentarias más antiguas sobreyacentes a rocas metamórficas de Guatemala central <sup>1</sup>

*Bonis (1967)* informalmente cambio el término de Santa Rosa elevándolo al rango de Grupo y utilizó el nombre de Formación Táctic para la parte superior de éste.

---

<sup>1</sup> Blanca Estela Buitrón. "Invertebrados Crinoidea y Bibalvia del Pensilvánico de Chiapas". *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 1, 2, (Diciembre 1977), 146.

*Anderson, Boyd, y Davis (1966)* quienes nombran a la secuencia inferior como miembro la libertad que corresponde a la secuencia inferior, la cual consiste en una secuencia gruesa de pizarras con intercalaciones de limolitas; la secuencia superior denominada informalmente miembro la Esperanza se refiere a inter-estratificaciones de pizarras y carbonatos.

*Blount (1967)* define el miembro la Libertad como un secuencia gruesa de lutita pizarrosa gris acerada y lutitas con muchas laminaciones de limolita; y el miembro la Esperanza como muy fosilífero con abundante contenido de briozoos, fusulínidos, crinoides, así también numerosos braquiópodos, corales y gasterópodos.

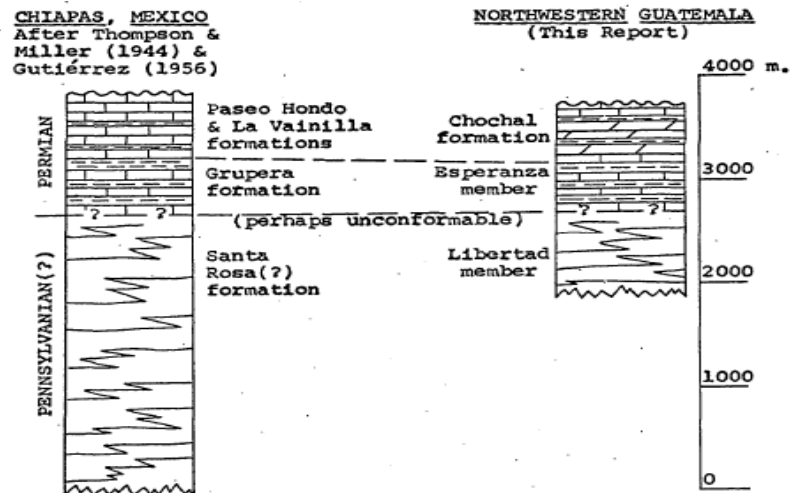
*Thompson y Miller (1944)* describen una sección en Chiapas a la que denomina formación Grupera, que coincide con la descrita en el noroeste de Guatemala, correlacionándola con el Miembro la Esperanza y describiéndola como una secuencia de rocas sedimentarias ligeramente metamorfizadas, dicha correlación se ejemplifica en la figura 3.

**b. Lutita Táctic**

Subyaciendo a las Calizas Chochal como parte del Grupo Santa Rosa, *Walper (1960)* las describe como unidad lutítica oscura con algunas capas calcáreas en el tope. Generalmente no es fosilífera pero presenta algunas capas con foraminíferos.



### FIGURA 3 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA DEL GRUPO SANTA ROSA



Fuente: *Geology of de Chiantla Quadrangle, Guatemala, 1967.*

#### c. Caliza Chochal

Rocas poco estudiadas, consiste en un gruesa secuencia de carbonatos de edad Pérmica, *Walper (1960)* reportó al menos 640 m cerca de Purulhá; la litología consiste en caliza y dolomía fétida con pocas capas de lutitas, de la misma forma la describe *Bount (1967)* en el cuadrángulo Chinautla, hace énfasis de la abundancia de lutitas en la parte superior de la secuencia, las calizas son generalmente muy fosilíferas, principalmente fusulínidos y gasterópodos grandes, las calizas son de color negro y las dolomías gris medio y claro, ambas se caracterizan por un alto contenido de venas de calcita.

*Kling (1960)* describe que el contenido fosilífero de la caliza Chochal son fusulínidos y algas, describiendo las facies Chochal como tras-arrecifales.

**d. Formación Todos Santos**

*Sapper (1899)* utilizó por primera vez el término Todos Santos para nombrar a esta secuencia.

*Donnelly (1990)* establece esta formación en el Jurásico Tardío y Cretácico, describiéndola como una secuencia de capas rojas por su dominante contenido de capas de ese color, conglomerática en la base y hacia el tope se hayan lutitas grises y verdes, calizas y yeso. Por cuestiones prácticas, estratigráficamente es usual nombrar como Todos Santos a todas las rocas clásticas entre las calizas del Pérmico y las dolomitas Cretácicas.

*Bount (1967)* la define como una unidad compleja compuesta de lutitas rojas, limolitas, areniscas y conglomerados.

**e. Formación Cobán**

La Formación Cobán es una caliza dolomítica masiva altamente recristalizada, como se ve en afloramiento a lo largo del margen sur del Bloque Maya. Brechas intraformacionales son comunes; éstas son predominantemente dolomíticas pero contienen calizas silíceas, y escasas lutitas y limolitas. Secciones de calizas delgadas de decenas de metros en espesor con poca dolomita ocurren cerca del tope de la Cobán<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> T.W. Donnelly, ET.AL. "The Geology of North America", *Northern Central America; The Maya and Chortís Blocks*. United States of America: J.E. Case and G. Dengo Editors, Vol. H., The Caribbean Region. Geological Society of America, (1990), 48.

*Blount y Moore (1969)* describen que es común encontrar brechas de solución evaporítica y ocurrencias de yeso secundario.

**f. Formación Campur (KCa)**

*Paulsen y Koch (1980)* definen la base de la Campur en el punto más bajo donde se encuentran debris de rudistas.

La Formación Campur es una caliza de grano fino con debris de rudistas localmente abundantes. Otras litologías (dolomita, lutita, limolita, brecha de caliza, conglomerado) son menores. El límite inferior es el contacto litológico entre dolomías predominantemente masivas, abajo, y calizas delgadas de grano fino, arriba.<sup>3</sup>

**FIGURA 4  
COMPARACIÓN ESTRATIGRÁFICA  
GUATEMALA ESTE CENTRAL**

Sapper (1989)	Termer (1932)	Roberts & Irving (1957)	Walper (1960)	Vinson (1962)	Richards (1963)	This Report	
Sepur	Sepur	Sepur fm.		Chemal Fm.		Sepur Fm.	4000
Cobankalk	Ixcoy-Kalk	Upper Cretaceous	?	Campur Formation		Ixcoy limestone	3000
		Ixcoy formation	Coban formation	?	Coban Formation		
Todos Santos-Schichten	Todos Santos-Schichten	Todos Santos formation	Todos Santos formation	Todos Santos Formation	San Ricardo Fm. Todos Santos Formation	Todos Santos Formation	2000
Karbonkalk	Carbon-Kalk	Chochal formation	Chochal formation	Chochal Formation		Chochal formation	1000
Santa Rosa-Schichten	Santa Rosa-Schichten	Santa Rosa formation	Tactic formation	Santa Rosa Formation		Esperanza member Libertad member	0

Fuente: *Geology of de Chiantla Quadrangle, Guatemala, 1967.*

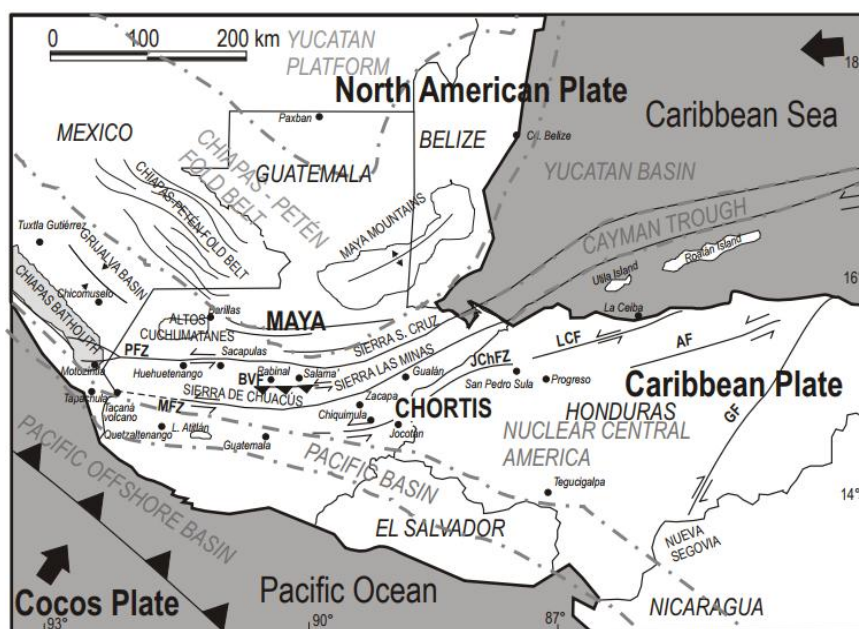
<sup>3</sup> *Ibídem*

### 1.9.2 Geología estructural

Guatemala se localiza en ambiente estructural complejo ya que sufre la interacción del contacto de 3 placas tectónicas, la placa de Norte América al norte, la placa del Caribe al sur y la placa de Cocos al suroeste.

El deslizamiento Los Chorros se localiza al norte de la zona de sutura Motagua, zona en cual tienen contacto la placa de Norte América y la placa del Caribe, la zona de sutura esta compuesta por 3 grandes zonas de falla, de sur a norte son: Jocotán-Chamelecón, Motagua y Cuilco-Chixoy-Polochic.

**FIGURA 5  
RASGOS TECTÓNICOS REGIONALES**



Fuente: *The Maya-Chortís Boundary: A Tectonostratigraphic Approach*, 2007.

La zona de sutura entre las placas Norte América y del Caribe han sido ampliamente estudiadas, *Rosencrantz*

*ET.AL. (1988)* calculó el desplazamiento a lo largo del límite entre estas dos placas, lo fundamento sobre la base de las tasas de dispersión en el cañón de Cayman, resaltaron así más de 1 000 km con una tasa de desplazamiento promedio de 20 mm en los últimos 10 Ma.

La traza de la falla Chixoy-Polochic se localiza dentro de la zona de estudio por lo que su injerencia en la tectónica del lugar es muy fuerte y predominante a cualquier otro sistema estructural.

*Ortega ET.AL. (2007)* hace referencia a la falla Chixoy-Polochic también conocida como Cuilco-Chixoy-Polochic como una de las principales fallas de Guatemala, desde la costa este de Guatemala hasta el sureste de México en Chiapas, bien marcada por los profundos valles de los ríos Cuilco, Chixoy y Polochic.

*Rosencrantz ET.AL. (1988)* en el occidente de Guatemala, indica que los controles estratigráficos cenozoicos a ambos lados de la falla de Polochic sugieren que el desplazamiento fue de unos 130 km desde 10,3 Ma, lo que corresponde a una tasa de deslizamiento de 13 mm/año.

*Burkart (1978)* detalla que la traza de falla Polochic en su bloque norte muestra un desplazamiento lateral izquierdo de  $132 \text{ km} \pm 5 \text{ km}$  que al restaurarlo hace que coincidan el Cenozoico, antiguas estructuras y estratigrafía pre-Cenozoica (figura 6).

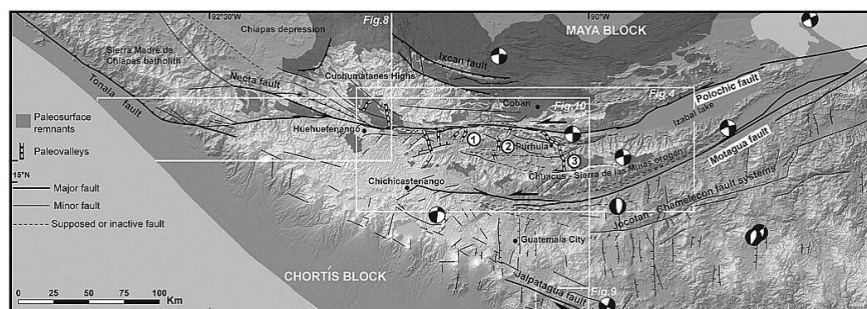
## FIGURA 6 TRAZA DE FALLA CHIXOY-POLOCHIC



**Fuente:** Offset across the Polochic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico. 1978

Estudios recientes exponen rasgos sobresalientes de la fallas mayores en Guatemala, *Authemayou, ET.AL. (2011)* hace referencia a trazas de fallas asociadas a limite transformante entre placas Norte América y del Caribe (figura 7), mecanismos focales, marcadores geomorfológicos (remanentes de paleosuperficies del Mioceno Medio) y paleovalles descubiertos por *Brocard, ET.AL. (2011)*.

## FIGURA 7 RASGOS ASOCIADOS AL LÍMITE TRANSFORMANTE DE PLACAS NORTE AMÉRICA Y CARIBE

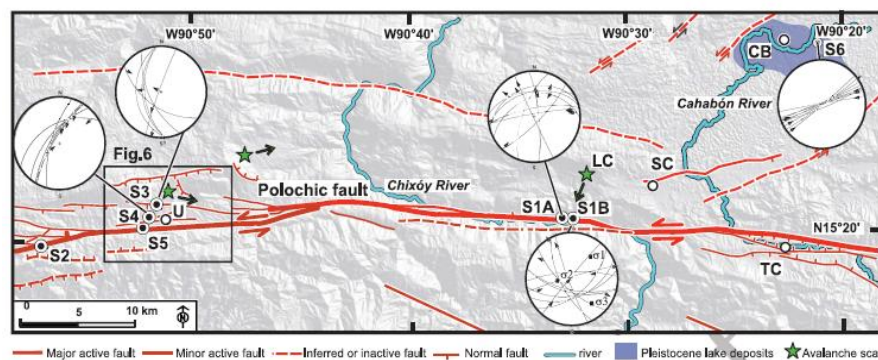


**Fuente:** The Caribbean-North America-Cocos Triple Junction and the dynamics of the Polochic-Motagua fault systems: Pull up and zipper models. American Geophysical Union. 2011

*Lovell (2005)* menciona que la falla Chixoy-Polochic tuvo especial actividad en el Terciario Temprano durante la orogenia Laramide.

Recientes trabajos a lo largo de la traza de falla Chixoy-Polochic dan a conocer datos interesantes sobre su cinemática. *Authemayou, ET.AL (2012)*, representa las trazas de fallas principales activas y datos de fallas con cinemática Cuaternaria recolectados en las regiones de Uspantán y Chixoy (figura 8).

**FIGURA 8**  
**CINEMÁTICA DE FALLA CHIXOY-POLOCHIC**



Fuente: *Quaternary seismo-tectonic activity of the Polochic Fault, Guatemala. 2012*

## 1.10 Revisión de literatura

Se citan algunos términos y definiciones relevantes en el desarrollo y mejor comprensión de la investigación, estos proveen definiciones a aspectos específicos del trabajo.

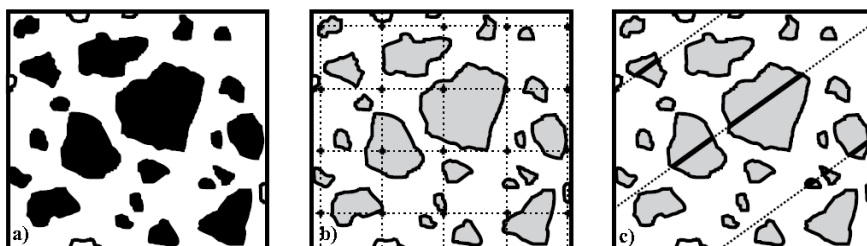
### 1.10.1 Análisis modal

Consiste en medir la composición mineral del sedimento o roca y analizar la frecuencia relativa de abundancia de cada componente. Los estudios

primitivos se refieren a términos semicuantitativos y bastante subjetivos como: raro, común, abundante, y las técnicas en uso tenía como objetivo fundamental la clasificación y nomenclatura correcta de las rocas más que la interpretación de la variación de componentes<sup>4</sup>

En la figura 9 se representan tres métodos de conteo de clastos para análisis modal de un depósito, de izquierda a derecha; conteo de pixeles, al centro el conteo de puntos y a la derecha Intersecciones de *Rosival*, todos son estimaciones visuales, que son aplicadas con estas mismas características para el conteo en campo.

**FIGURA 9**  
**MÉTODOS ÓPTICOS O ESTIMACIONES VISUALES**



Fuente: Construcción de Perfiles Granulométricos de Depósitos Piroclásticos por métodos ópticos. 2005.

### 1.10.2 Columna estratigráfica

Las representaciones graficas de las series reciben el nombre de columnas estratigráficas. Estas columnas se pueden dibujar en dos o tres dimensiones, pero de ellas solo tiene sentido geológico vertical. En el eje vertical se representa el espesor de cada estrato o conjunto de estratos distinguidos. Al ser el espesor un

<sup>4</sup> Inmaculada Corrales Zarauza, ET.AL. *Estratigrafía*. Madrid, España: Editorial Rueda, 1977, 211 y 212.



indicativo de los materiales sedimentados durante un lapso de tiempo, la representación vertical será un registro crono-estratigráfico de las unidades que integran la columna<sup>5</sup>

### **1.10.3 Clasto**

Por definición se considera un "Fragmento de roca. Se le clasifica de acuerdo al tamaño en: bloques, cantos, arenas, limos y arcillas"<sup>6</sup>

### **1.10.4 Estratigrafía**

Es la ciencia que estudia la secuencia o sucesión de las capas o estratos que se han formado a través del tiempo geológico. El estudio estratigráfico no puede efectuarse sin la ayuda de la Paleontología.

Las consideraciones de orden paleoclimáticas son de sumo interés para el geólogo a fin de determinar la naturaleza de las facies y la génesis del material.

La estratigrafía tiene dos bases fundamentales en el estudio de la secuencia: la de los fósiles que marca la edad relativa de las capas y de las facies que determina la naturaleza y el origen de los materiales.

Gracias al desarrollo de la estratigrafía se puede datar ciertas capas o estratos por analogía con otras capas ya datadas.

El estudio estratigráfico debe estar íntimamente ligado al paleontológico, pues en las regiones plegadas o falladas o imbricadas es muy dudosa la datación en las capas sin una buena base paleontológica.

---

<sup>5</sup> *Ibidem.*, 26 y 27.

<sup>6</sup> Jorge Dávila Burga. *Diccionario Geológico*. Peru: Arth Grouting, 2011, 181.

La estratigrafía es por consiguiente, la historia física de la tierra narrada a través del examen de los terrenos sedimentarios y de los fósiles que pueden contener.<sup>7</sup>

### 1.10.5 Deslizamientos

Son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superarse la resistencia al corte en estos planos. Características fundamentales de este tipo de inestabilidad son la presencia de planos de ruptura más o menos netos y el movimiento del material en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. La velocidad de los deslizamientos puede ser muy variable, pero en general son procesos rápidos que pueden alcanzar inmensas proporciones (millones de metros cúbicos) y resultar devastadores.<sup>8</sup>

### 1.10.6 Avalanchas

Son movimientos muy rápidos de una masa de tierra, fragmentos de roca o derrubios (que pueden o no ir acompañados de hielo y nieve), que desciende de una ladera o cae de un escarpe. La acumulación de fragmentos incluye todos los tamaños y no presenta clasificación o estructura alguna.

Las avalanchas de roca son típicamente el resultado de deslizamientos o desprendimientos rocosos, están compuestas por fragmentos rocosos que se rompen y pulverizan durante el movimiento, a pesar de lo cual se desplazan en conjunto.

Las avalanchas de derrubios están formadas por fragmentos de material incoherente, generalmente

---

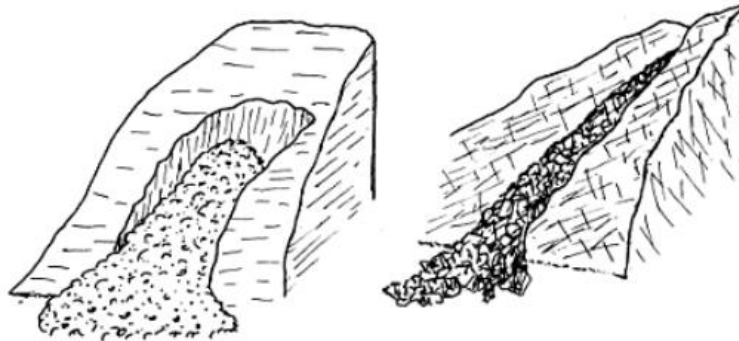
<sup>7</sup> *Ibidem.*, 312.

<sup>8</sup> Mercedes Ferrer Gijón. *Riesgos Geológicos*. Madrid, España: Instituto geológico y minero de España. Geología Ambiental, 1987, 177 y 178.

húmedos, y con abundante material fino; el agua reduce la resistencia de los materiales que forman la cara de un talud escarpado, pudiendo dar lugar a este fenómeno. Los movimientos sísmicos son también causantes de avalanchas por el incremento del esfuerzo cortante y disminución de la resistencia a que dan lugar.

...Características típicas de los depósitos de avalancha son la distribución caótica de bloques de gran tamaño, una gran porosidad y la prácticamente inexistente abrasión de los bloques. Puede alcanzar velocidades de más de 100 km, a la hora, debido a la importante disminución de la fricción<sup>9</sup> que produce la presencia de aire entre los fragmentos...

### FIGURA 10 AVALANCHAS



**Fuente:** Riesgos Geológicos. Instituto geológico y minero de España. Geología Ambiental. Madrid, España. 1987.

#### 1.10.7 Flujos

Los flujos son movimientos de masas, más o menos rápidos, característicos de materiales sin cohesión. Principalmente tiene lugar en suelos muy susceptibles que sufren una considerable pérdida de resistencia con el movimiento.

---

<sup>9</sup> *Ibidem.*, 183.

Los materiales involucrados actúan, temporalmente, como un fluido, sufriendo una deformación continua y sin presentar superficies de rotura definidas.

Los movimientos tipo flujo suelen presentar una morfología glaciar y pueden involucrar a suelos (coladas de barro), derrubios (coladas de derrubios) o fragmentos de roca (coladas de fragmentos de rocas). La diferencia entre estos dos últimos tipos y las avalanchas de derrubios o de fragmentos rocosos es la velocidad del proceso, más lento en los flujos y súbito y repentino en las avalanchas.<sup>10</sup>

### 1.10.8 *Rock Mass Rating (RMR)*

Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass rating, que varía de 0 a 100.<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Mercedes Ferrer Gijón. *Riesgos Geológicos*. Madrid, España: Instituto geológico y minero de España. Geología Ambiental, 1987, 183.

<sup>11</sup> Luis I. González de Vallejo, ET.AL. *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Prentice Hall Pearson Educación, 2002, 230.

### 1.10.9 Resistencia a compresión simple (UCS)

La resistencia a compresión simple o resistencia uniaxial es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio, y viene dada por:<sup>12</sup>

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} = \frac{\text{Fuerza compresiva aplicada}}{\text{Area de aplicación}}$$

### 1.10.10 Rock Quality Designation (RQD)

*Deere (1968)* definió el *RQD*, como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin considerar las roturas debidas al propio proceso de perforación, respecto de la longitud total de sondeo (figura 11).

Otro procedimiento expuesto en la figura 12 es el propuesto por *Priest y Hudson (1976)* el cual calcula el *RQD* en función del número de fisuras por metro lineal, en un segmento longitudinal de una pared expuesta, estableciendo para ello la siguiente ecuación:

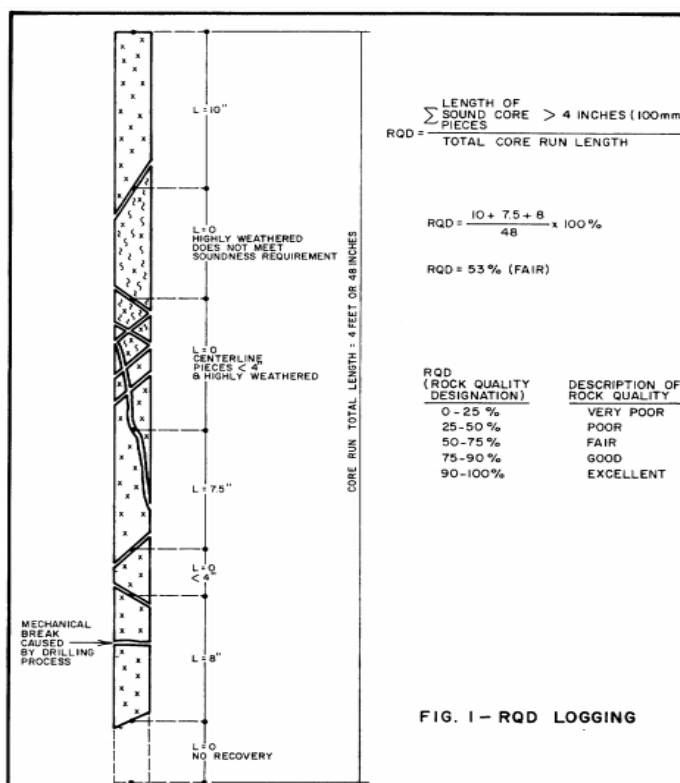
$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$$

donde:  $\lambda$  = Nro. De Fisuras / Espacio (Span)

---

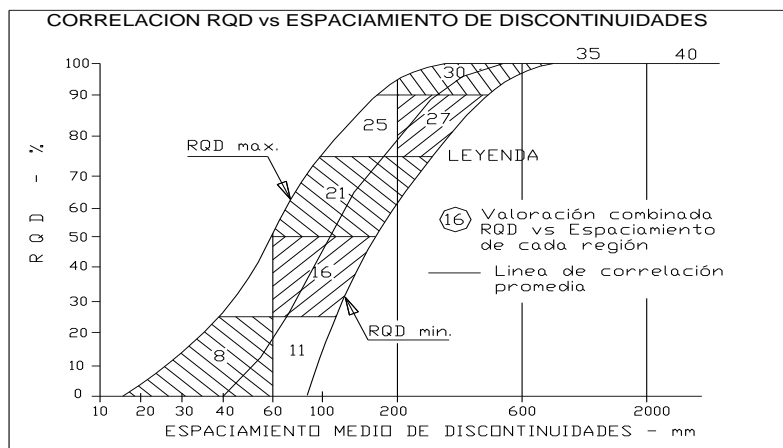
<sup>12</sup> *Ibíd.*, 130.

**FIGURA 11**  
**CÁLCULO DE RQD EN TESTIGOS**



Fuente: *Rock Quality Designation (RQD) after twenty years, 1989.*

**FIGURA 12**  
**CÁLCULO DE RQD EN SEGMENTO LONGITUDINAL DE UNA PARED EXPUESTA**



Fuente: *Discontinuity spacings in rock, Priest y Hudson. 1976*

### **1.10.11 Lóbulo**

Un lóbulo es una estructura redondeada formada por materiales alóctonos, que sobresale de un cuerpo o superficie, suelen ser complementados con un calificativo en función de su origen, como por ejemplo, lóbulo gravitacional, lóbulo detrítico, lóbulo glaciar, etc.

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Generalidades**

El conteo de clastos y análisis modal de sus resultados tiene un amplio campo de estudio en sedimentología, principalmente en ambientes de origen aluvial y lacustre, en la última década este análisis ha sido implementado satisfactoriamente en análisis referentes a deslizamientos y avalanchas.

Además, del conteo de clastos para determinar la dinámica de un deslizamiento, se necesita el complemento de otros estudios, dentro de los cuales se pueden mencionar, el levantamiento geológico y estratigráfico que permita establecer las características litológicas y estructurales existentes en la zona de deslizamiento, un mapa geomorfológico que permita determinar las principales geoformas generadas a razón del deslizamiento, un levantamiento estratigráfico que permita establecer una relación entre los lóbulos existentes en el depósito deslizado y la corona de dicho deslizamiento.

Para establecer detenidamente los pasos a seguir para alcanzar los objetivos se detalla el marco metodológico siguiente:

#### **2.2 Marco metodológico**

Para alcanzar los objetivos propuestos se cumplieron con cuatro etapas que se describen detalladamente a continuación:



### **2.2.1 Etapa de recopilación y análisis bibliográfico**

En ésta se recabó toda la información precedente en el área de investigación, que sirvió como soporte y punto de inicio, en relación al problema planteado, fue de tipo geológica, geomorfológica, sedimentológica, estructural, social y científica.

Dentro de los datos bibliográficos más sobresalientes se destacan la geología del túnel de la presa Chixoy, el cual atraviesa semi-longitudinalmente el deslizamiento Los Chorros en dirección noroeste-sureste; además los estudios realizados por *Authemayou ET.AL.* y *Brocard ET.AL.* sobre las trazas de la falla Chixoy-Polochic estudiadas en depósitos cuaternarios a orillas del río Chixoy.

### **2.2.2 Trabajo de campo**

Se realizó en tres etapas: la cartografía, el levantamiento lito-estratigráfico y conteo de clastos.

#### **a. Cartografía**

Se elaboró a escala 1:25 000 un mapa geológico en el que se detallan todos los aspectos geológicos y estructurales presentes en el área de estudio; con el método de caminamientos, que se basa en explorar por medio de rutas de trabajo el máximo de exposiciones de roca, esto incluye carreteras, caminos peatonales, quebradas, ríos, etc.

Simultáneamente al proceso de cartografiado geológico se determinó el índice de *RMR* básico en afloramientos representativos para cada unidad

litológica; se exceptuaron las unidades litológicas inconsolidadas como ceniza volcánica, aluviones y coluviones.

Se elaboró un mapa geomorfológico a escala 1:10 000, en el cual se establecen las principales geoformas y rasgos geomorfológicos presentes en el área de estudio; se dio mayor importancia y énfasis al depósito originado por el deslizamiento, debido al interés sobre el estudio de los lóbulos para el conteo de clastos.

Para determinar el tipo y escala de mapa geomorfológico y los rasgos morfológicos a incluir en dicha cartografía se utilizó como referencia a *J.L. Peña Monné ET.AL. (1997)* en su libro *Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada*, en el cual se detalla que para realizar este tipo de mapa es necesario obtener información pre-existente de los mapas topográfico y geológico, tripleta de fotografías aéreas, imágenes satelitales en este caso usando como fuente a *Google Earth*

En la figura 13 se muestra la clasificación de mapas geomorfológicos propuesta por *J.L. Peña Monné ET.AL. (1997)*, así como las características tomadas en consideración.

**FIGURA 13**  
**CLASIFICACIÓN DE MAPAS**  
**GEOMORFOLÓGICOS**

ESCALA	MORFOGRAFIA	CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	DIMENSIONES DE LAS FORMAS	CARACTER GENÉTICO	CLASE	ESCALA TEMPORAL	NIVEL DE APLICACION
	Formas elementales Formas Formas complejas Grupos de formas	Morfometría Litología/Estructura Morfogénesis Morfocronología Morfodinámica Morfoestructura		monofásico polifásico monogénico poligénico			
Planos geomorfológicos	.....	.....	Microforma	.....	Síntesis	Pleistoceno Holoceno	..... máximo
Mapas geomorfológicos básicos	.....	.....	Mesoforma	.....	↑		..... medio
Mapas geomorfológicos detallados	.....	.....	Macroforma	.....	↓	Terciario Pleistoceno Holoceno	.....
Mapas geomorfológicos sinópticos de escala media	.....	.....		.....			
Mapas geomorfológicos sinópticos de pequeña escala	.....	.....		.....			
Mapas geomorfológicos de países	.....	.....	Megaforma	.....	Análisis	Mesozoico Terciario Pleistoceno Holoceno	..... mínimo
Mapas geomorfológicos de continentes	.....	.....		.....			
Mapas geomorfológicos del mundo	.....	.....		.....			

**Fuente:** Modificado de Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. J.L. Peña Monné ET.AL. 1997.

En la figura 14 J.L. Peña Monné ET.AL. (1997) hace referencia a la importancia del uso de mapa de pendientes y su relación con la litología, propone una clasificación del riesgo de deslizamiento en función de la resistencia mecánica de las rocas versus la pendiente del terreno. A partir de ésta propuesta se hizo uso de la topografía del lugar y se generó un mapa de pendientes; se establecieron zonas propensas a riesgos de deslizamiento producto de la combinación de altas pendientes y rocas de baja resistencia mecánica. Los rangos porcentuales de

pendientes utilizados para el mapa de pendientes son:  
<10 %, 10 %-40 % y >40 %.

**FIGURA 14**  
**CLASIFICACIÓN DEL RIESGO DE**  
**DESLIZAMIENTO**

		PENDIENTE		
		<10 %	10 % - 40 %	>40 %
RESISTENCIA MECÁNICA	CALIZAS Débil – moderadamente débil	BAJO - NULO	MEDIO	ALTO
	YESOS, ARCILLAS Y MARGAS Débil –muy débil	BAJO - NULO	ALTO	MUY ALTO
	GRAVAS Y ARENAS (cementadas o no) Muy débil-débil- moderadamente débil	BAJO - NULO	MEDIO	ALTO

Fuente: Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada.  
J.L. Peña Monné ET.AL. 1997.

**b. Levantamiento lito-estratigráfico**

Se realizó el levantamiento estratigráfico de toda la secuencia litológica de la zona cercana al deslizamiento Los Chorros, desde su parte más baja en el río Chixoy hasta la parte más alta en la corona.

Con caminamientos en las quebradas Xol y Agua Blanca (principales zonas de afloramiento a lo largo del deslizamiento) y carreteras se describieron macroscópicamente y microscópicamente todas las litologías de la zona, se determinó el *RMR* básico para cada una de las unidades consolidadas por medio del método propuesto por *Bieniawski (1989)* con el objeto de establecer la calidad del macizo rocoso, como

complemento a la investigación en caso de que está sea utilizada para establecer medidas de mitigación y rehabilitación de la carretera nacional RN-7W.

El muestreo litológico se realizó ubicando muestras suficientemente representativas en cada una de las unidades litológicas, éstas fueron etiquetadas y preparadas para el análisis macro y microscópico desde el punto de vista mineralógico y fosilífero.

**c. Conteo de clastos**

Una vez determinados los lóbulos en el mapa geomorfológico, se realizó el conteo de clastos en los lóbulos resultantes, con lo cual se definió la cantidad porcentual de tipo de roca y los tamaños predominante de los clastos, con los cuales se determinó la ubicación de procedencia respecto a la estratigrafía de la corona.

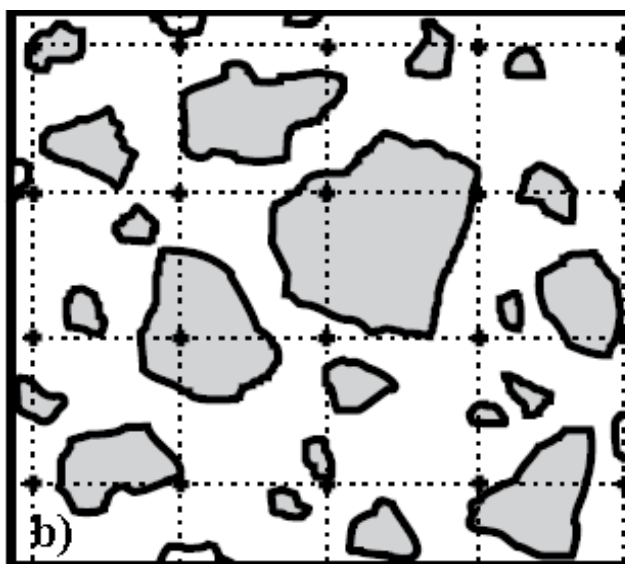
Para el conteo de clastos se utilizó el método de conteo de puntos, tomando como mínimo 100 puntos como cantidad muestral en cada conteo, lo cual dio certeza al método utilizado.

Por su sencillez, el conteo de puntos es el método óptico más ampliamente utilizado. Esta técnica, propuesta por primera vez por Thomson (1930), llamada en petrografía análisis modal, consiste en medir el componente (mineral, partícula, fase, etc.), que se encuentra en cada punto de medición llamado nodo.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Damiano Sarocchi. ET.AL. "Construcción de Perfiles Granulométricos de Depósitos Piroclásticos por métodos ópticos". *Revista mexicana de Ciencias Geológicas, Querétaro, México: Universidad Nacional Autónoma de México.* 22, 3, (Junio 2005), 273.

**FIGURA 15**  
**CONTEO DE PUNTOS**



**b)**  
**Fuente:** Modificado de Construcción de Perfiles Granulométricos de Depósitos Piroclásticos por métodos ópticos. Sarocchi ET.AL. 2005

### **2.2.3 Trabajo de laboratorio**

De las 13 muestras recolectadas se elaboraron y describieron 19 secciones delgadas, que representan la litología en la corona del deslizamiento y sus alrededores, con el objeto de identificar el tipo de roca y su posible rango de edad, esto para enriquecer la información de la columna lito-estratigráfica. El número de secciones se definió e incrementó hasta que se obtuvieron los resultados esperados.

### **2.2.4 Etapa de gabinete**

Se elaboró la columna lito-estratigráfica en la que sobresalen aspectos como la cronología de la secuencia, correlación con geología local y regional, su contenido fósil y su ambiente de formación. Así también se elaboraron los

mapas geológico, geomorfológico, modelo de elevación y pendientes.

Se realizó el análisis modal por medio de interpretación estadística de datos obtenidos en los conteos de clastos, para ello se utilizaron instrumentos como el *Microsoft Excel*, el cual permite el ingreso y tabulación de datos recolectados para calcular parámetros estadísticos, ésta información se confrontó con los resultados calculados por la hoja de cálculo *Gradistats 4.0* creada por *Blott (2000)*

Para establecer la dinámica del deslizamiento se determinó el tipo de deslizamiento y la caracterización del mismo, para ello se utilizó inicialmente la metodología propuesta por *Varnes (1978)* se definió la clasificación de los movimientos en masa con el cual se tipifican los principales tipos.

Para la caracterización del movimiento se utilizó la metodología propuesta y modificada por *Suárez (1998)* la cual hace referencia a la importancia de establecer otras características para un movimiento en masa en ambientes tropicales.

Adicionalmente al tipo de movimiento es importante definir las características que posee en cuanto a secuencia, estado de actividad, estilo, velocidad, humedad y material<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Jaime Suárez Díaz. *Deslizamientos y Estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos, Publicaciones UIS, 1998, 24.

Se culminó esta etapa con la elaboración del informe final en el cual se da a conocer el proceso completo de la investigación, los resultados obtenidos y las conclusiones.





## **CAPÍTULO 3**

### **PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1 Generalidades**

La investigación se desarrolló en rocas de ambiente marino en el cual predominan rocas de tipo carbonatico, tales como calizas y calizas dolomíticas, rocas de origen tras-arrecifales clásticas como lutitas, rocas del tipo evaporítico como el yeso y rocas de ambiente continental como depósitos de cenizas volcánicas, depósitos aluviales y coluviales.

Otro aspecto importante a considerar es la cercanía de la zona de estudio es la falla Chixoy-Polochic, la cual presenta un movimiento sinistral y forma parte de la zona de sutura entre las placas de Norte-América y del Caribe.

La geología local, estratigrafía y geomorfología forman parte importante y son un gran aporte de información para alcanzar los objetivos, además el análisis estadístico del conteo de clastos en los lóbulos resultantes otorga datos claros para determinar la composición y granulometría del depósito, lo que contribuye enormemente a la propuesta de dinámica del deslizamiento.

#### **3.2 Geología local**

El aspecto geológico proyecta dos análisis, el litológico el cual se centró en la descripción de las unidades presentes y el estructural definió el tipo de movimiento que afecta la zona y su relación con las estructuras geológicas.

### 3.2.1 Litología

La litología se describe cronológicamente del Pérmico al Cuaternario, lo cual permite una mejor comprensión de la distribución espacial de base a techo en la secuencia lito-estratigráfica. Para ello se realizó descripción macroscópica y microscópica de cada unidad.

Para la descripción microscópica se recolectaron un total de 13 muestras (tabla 2) de las que se obtuvo secciones delgadas para ver su contenido mineralógico y principalmente el estudio y contenido de microfósiles

**TABLA 2**  
**MUESTRAS PARA ANÁLISIS MICROSCÓPICO**

MUESTRA	COORDENADAS UTM		ALTITUD msnm	LITOLOGÍA
	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	
LC_MA01	1701432	765421	1483	LUTITA
LC_MA02	1701450	765471	1498	LUTITA
LC_MA03	1701190	765383	1431	LUTITA
LC_MA04	1701131	765390	1412	CALIZA
LC_MA05	1701417	765153	1323	YESO
LC_MA06	1702195	764550	1530	CALIZA
LC_MA07	1701200	764850	1245	LUTITA
LC_MA08	1702356	764751	1560	LUTITA
LC_MA09	1697625	762862	645	LUTITA
LC_MA10	1702210	765000	1479	CALIZA
LC_MA11	1702356	765095	1491	CALIZA
LC_MA12	1703365	765953	1582	CALIZA
LC_MA13	1699271	762249	965	CALIZA

ente: Elaboración propia, julio de 2016.

Se identificaron dos litologías de edad Pérmica en el área de estudio, las lutitas pizarrosas correlacionadas con la

Formación Táctic y calizas correlacionadas con la Formación Chochal.

**a. Lutita pizarrosa (PT)**

Unidad de edad Pérmica, aflora al sur del área, en el bloque piso de la falla Chixoy-Polochic, sus mejores afloramientos se localizan en la ladera sur del río Chixoy. Caracterizada por una secuencia inter-estratificada de lutitas pizarrosas y *chert*, con espesor de estrato que van de 20 cm a 50 cm.

Estratigráficamente en contacto discordante y fallado subyacente con calizas pérmicas, son la base de la columna lito-estratigráfica establecida para este estudio. Esta secuencia se correlaciona con la descrita para las lutitas levemente metamorfizadas de la Formación Táctic.

**FOTOGRAFÍA 1  
AFLORAMIENTO DE LUTITAS Y *CHERT***

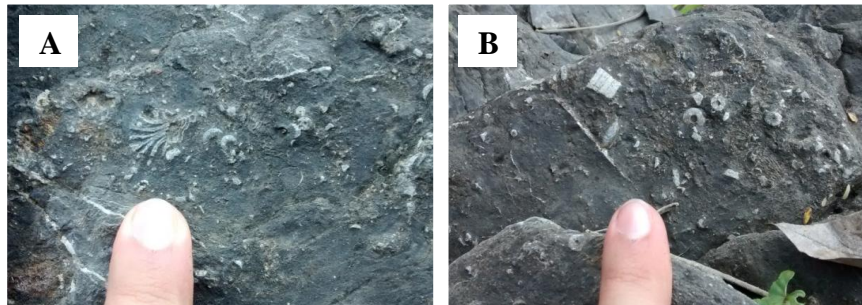


**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Macrosópicamente las lutitas presentan coloración parda en su exterior expuesto a agentes meteóricos y color

gris oscuro en interior no expuesto y sano, texturalmente se identifica como una lutita *wackestone* matriz soportada con bioclastos (crinoides), con ligero grado de metamorfismo evidenciado por ligera foliación y pizarrosidad (fotografía 2, vista A y B). Los estratos de *chert* formados por precipitación de cuarzo de coloración blanca y sin presencia de fósiles.

## FOTOGRAFÍA 2 VISTA MACROSCÓPICA DE LUTITAS PIZARROSAS

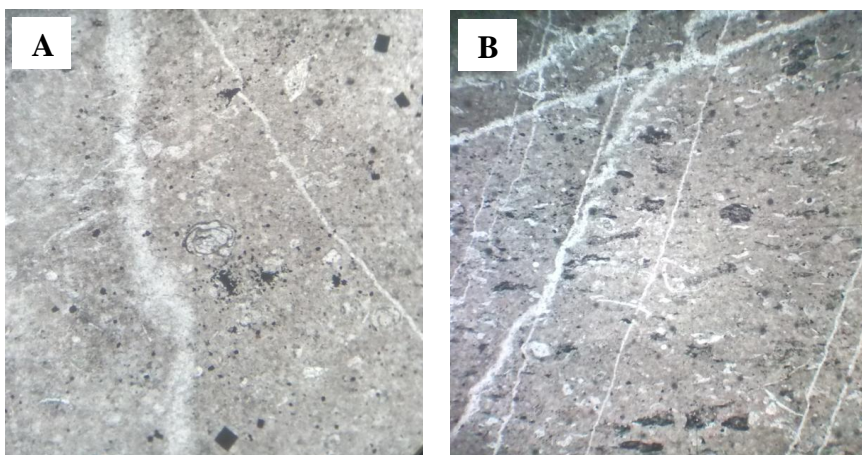


**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Microscópicamente se observa una lutita biomicrita matriz soportada, afectadas levemente por bajo grado de metamorfismo, evidenciado en la deformación de los minerales presentes (fotografía 3, vista B), en cuanto al contenido fósil se observan fragmentos de tallos de crinoides y minerales accesorios metálicos con forma cubica identificada como pirita (fotografía 3, vista A).

Los estratos de *chert* interestratificado con las lutitas pizarrosas están conformados por precipitación de cuarzo criptocristalino, microscópicamente sin contenido fosilífero, por tanto se determinó como un *chert* inorgánico.

### FOTOGRAFÍA 3 VISTA MICROSCÓPICA DE LUTITA PIZARROSA



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016.

#### b. Caliza (PC)

Esta unidad aflora al sur del deslizamiento Los Chorros, sus mejores afloramientos se localizan a orillas de la quebrada Agua Blanca, a orillas del río Chixoy y también en afloramientos menores en las colinas y carreteras cercanas al río Chixoy.

Unidad de edad Pérmica, suprayacente a Lutitas pizarrosas, en el bloque techo de falla Chixoy-Polochic y subyacente a las unidades Cretácicas en contacto por cabalgamiento con rumbo N110 y buzamiento  $\sim 30^\circ - 40^\circ$ . Esta unidad se correlacionó con calizas de la Formación Chochal.

Macroscópicamente esta unidad está conformada por un único horizonte de calizas *mudstone* bioclásticas (fragmentos fósiles en su mayoría recristalizados por calcita), lítica estratificada, de coloración negra con venas blancas de calcita, ligeramente fétida proporcionado por su

bajo contenido de dolomita <10 % y bajo contenido de minerales metálicos (pirita).

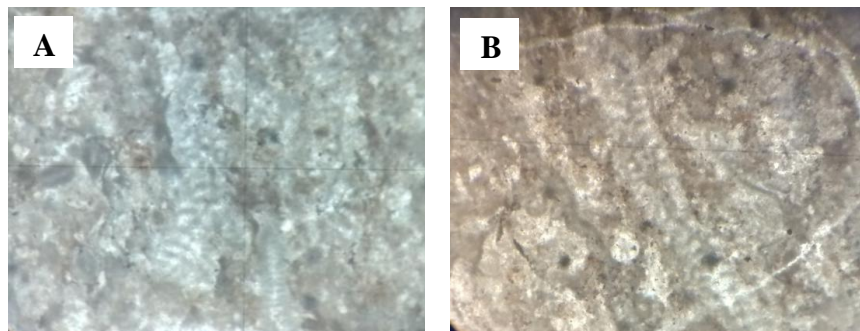
#### **FOTOGRAFÍA 4 VISTA MACROSCÓPICA DE CALIZA PÉRMICA**



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Microscópicamente se observan calizas *mudstone* bioclásticas con matriz soportada, descrita composicionalmente como biomicrita, leve contenido de dolomita <10 %, con contenido de fragmentos fósiles cristalinos no identificados (fotografía 5, vista A y B) y rico en contenido de minerales metálicos (pirita).

#### **FOTOGRAFÍA 5 VISTA MICROSCÓPICA DE CALIZA PÉRMICA**



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016.

Se describe una secuencia no fosilífera, asociada a la Formación Cobán inferior, dentro de la cual se tipifica un intervalo evaporítico (*Dengo, 1983*) y ocurrencias de yeso secundario comunes en la base de ésta formación (*Blount y Moore, 1969*) en el área está conformada por caliza dolomítica microclástica, yeso secundario, lutitas calcáreas e intercalaciones de calizas y lutitas calco-arenosas.

**c. Caliza dolomítica microclástica (KCo)**

Aflora a lo largo de las quebradas Xol e Independencia en la parte central del área de estudio, donde se encuentran sus mejores exposiciones, dicha unidad cubierta en su mayoría por el material coluvial desplazado durante el deslizamiento Los Chorros.

Suprayace en contacto fallado con calizas pérmicas y subyacen en contacto discordante con lutitas calcáreas y eventualmente con depósito de yeso.

**FOTOGRAFÍA 6  
AFLORAMIENTO DE CALIZA MICROCLÁSTICA**



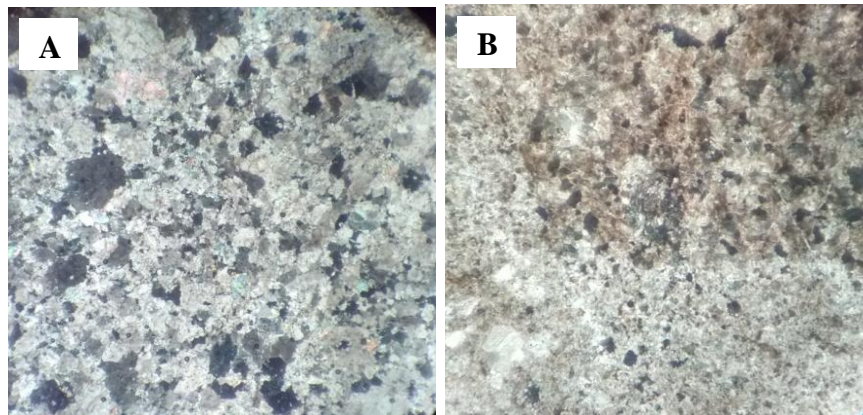
**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.



Macroscópicamente se detalla como una caliza dolomítica cristalina hacia el techo y microclástica hacia la base de la unidad, estratificada, de coloración negra y gris oscuro, alto contenido de venas blancas de calcita, sin contenido fosilífero.

Microscópicamente se confirma un cambio textural de caliza cristalina inequigranular con textura xenotópica con cristales anhedrales en el techo (fotografía 7, vista A), a caliza cristalina microclástica de composición esparita, los intraclastos esparíticos inequigranulares, xenotópica con cristales anhedrales en la base de la unidad litológica (fotografía 7, vista B), el contenido fosilífero en toda la unidad es nulo.

### **FOTOGRAFÍA 7 VISTA MICROSCÓPICA DE CALIZA MICROCLÁSTICA**



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016.

#### **d. Yeso (KCo)**

Esta unidad aflora en la base del anfiteatro producido por el deslizamiento Los Chorros, los mejores afloramientos

están principalmente sobre la carretera alterna a RN-7W y quebrada Xol.

Estratigráficamente se encuentra inyectada entre la Unidad de Caliza dolomítica microclástica y la Unidad de Lutitas calcáreas de la secuencia estratigráfica de la Formación Cobán, también se encuentra en contacto con coluviones originados en el deslizamiento Los Chorros, sirvió como superficie de transporte de dicho material durante el evento.

### **FOTOGRAFÍA 8 AFLORAMIENTO DE YESO**

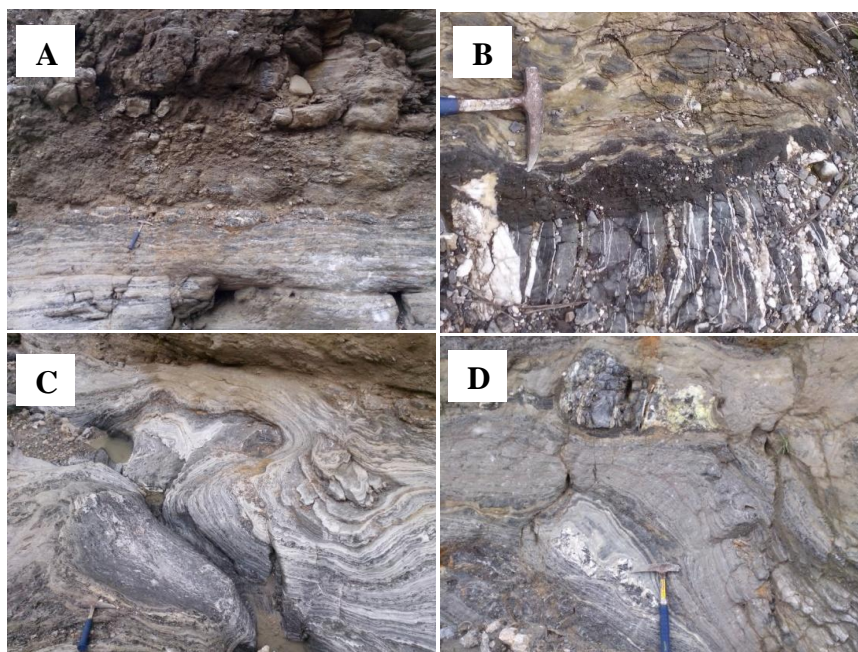


**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Macroscópicamente esta unidad se compone de yeso secundario con aspecto de flujo, estructura bandeada, laminada y textura micro cristalina, coloración blanca con frecuentes cambios de tonalidad en sus laminaciones, fábrica cristalina paralela a estratificación; dentro del yeso se observan inclusiones con tamaños entre los 5 cm y 40 cm de caliza dolomítica de color negro, arrastradas durante el fenómeno de diapirismo o migración del yeso dentro de la serie estratigráfica del lugar.

La fotografía 9, vista A muestra el contacto la superficie de deslizamiento del material desplazado y la Unidad de Yeso; la vista B muestra el contacto de Caliza dolomítica y Yeso; la vista C la estructura de flujo característica de la Unidad de Yeso y la vista D las inclusiones de caliza dentro del yeso.

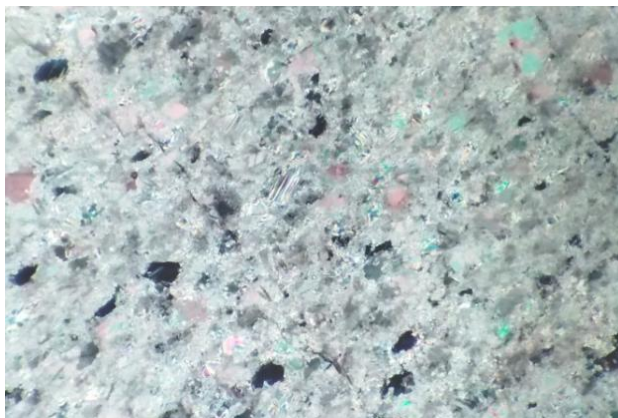
### FOTOGRAFÍA 9 EXPOSICIÓN DE YESO



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Microscópicamente se describe yeso microcristalino con cristales con forma de rombo y coloraciones en tonalidades grisáceas.

## FOTOGRAFÍA 10 VISTA MICROSCÓPICA DE YESO



Fuente: Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016.

### e. Lutita Calcárea (KCo)

Esta unidad se localiza en la base del anfiteatro producido por el deslizamiento Los Chorros y se extiende lateralmente en dirección este-oeste, sus principales afloramientos están sobre la carretera alterna a RN-7W dentro de finca Independencia (fotografía 11, vista A) y la quebrada Xol (fotografía 11, vista B).

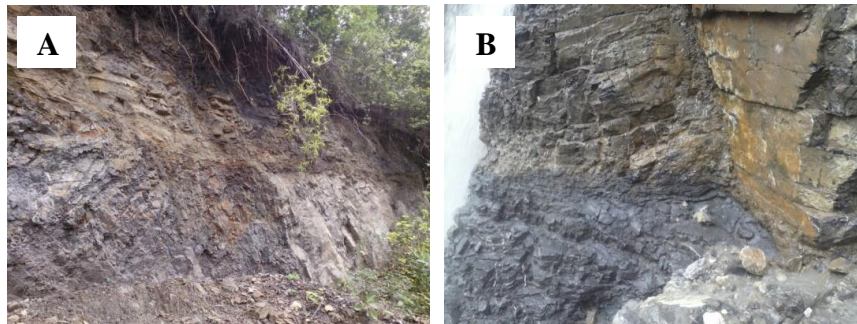
## FOTOGRAFÍA 11 AFLORAMIENTO DE LUTITA CALCAREA



Fuente: Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Estratigráficamente suprayace en contacto discordante con Caliza dolomítica microclástica (fotografía 12, vista A y B) y con depósito de yeso, subyace en contacto fallado con secuencia calcárea formada por calizas y lutitas calco-arenosas no fosilíferas.

### **FOTOGRAFÍA 12 CONTACTO DE LUTITA CALCÁREA Y CALIZA DOLOMÍTICA**



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Macroscópicamente se presenta como una Unidad de Lutita calcárea cristalina con coloraciones parda, verde y gris oscuro, estratificada con espesor de estratos entre 5 cm – 60 cm, sin contenido fosilífero.

### **FOTOGRAFÍA 13 VISTA MICROSCÓPICA DE LUTITA CALCÁREA**



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016.

Microscópicamente es una lutita calcárea microcristalina equigranular con textura xenotópica con cristales anhedrales, muestra cristales con bordes mal formados y caras curvas y oblicuas (Fotografía 13).

**f. Calizas y lutitas calcoarenosas (KCo)**

Aflora en la parte central y en la parte inferior dentro del anfiteatro del deslizamiento Los Chorros y a los costados de éste, sus principales afloramiento se encuentran sobre la carretera RN7W y el camino agrícola de la finca Independencia expuesto en ambas por los taludes de carretera, dentro el área del depósito afloran a orilla de la quebrada Xol.

**FOTOGRAFÍA 14**  
**AFLORAMIENTO DE LUTITA CALCOARENOSA**



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016

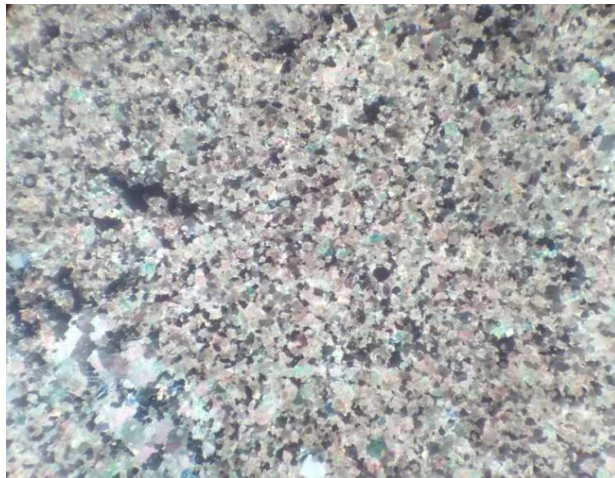
Estratigráficamente suprayace a las lutitas calcáreas y subyace en contacto fallado con caliza dolomítica fosilífera,

en la base de ésta se encuentran las calizas y en la cima las lutitas.

Macroscópicamente se consideran calizas y lutitas cristalinas, ambas presentan textura cristalina calcóarena y coloración gris, ligera presencia de venas de calcita, se presenta en estratos entre los 5 cm y 50 cm para las lutitas y de mayores a 80 cm en las calizas.

Microscópicamente roca carbonática de textura microcristalina equigranular con textura xenotópica con cristales anhedrales, en la fotografía 14 se observa variación en el tamaño de los cristales esto debido a que los de mayor tamaño pertenecen a las venas de calcita, composicionalmente se describe como una micrita.

### **FOTOGRAFÍA 15 VISTA MICROSCÓPICA DE LUTITAS CALCOARENASAS**



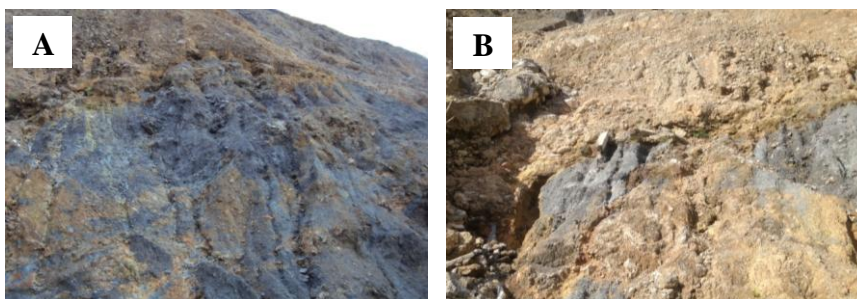
**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016

### g. Caliza dolomítica fosilífera (KCo)

Ubicada en la zona central específicamente dentro del anfiteatro del deslizamiento Los Chorros, unidad expuesta a consecuencia de dicho evento, sus mejores afloramientos están en el talud natural formado por el anfiteatro, principalmente en las nuevas quebradas formadas dentro de éste.

Estratigráficamente se ubica dentro de la Formación Cobán, subyacente a calizas cristalinas en contacto fallado y suprayacente a calizas y lutitas calco-arenosas en contacto fallado con componente inverso, de 16 m de espesor formado por *gouge* de falla, altamente permeable, emerge de éste, flujos considerables de agua que dan origen a pequeñas quebradas.

### FOTOGRAFÍA 16 ZONA DE *GOUGE*



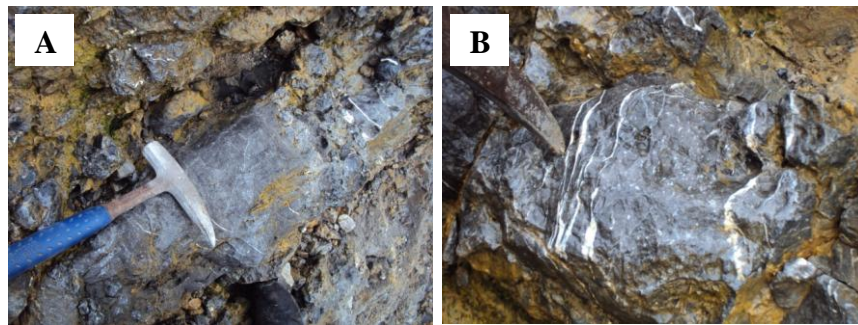
**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

La zona de contacto se presenta en afloramiento con un aspecto multicolor, su matriz completamente arcillosa en colores como rojo, pardo, amarillo y gris, entre otros menos representativos, dentro de dicha matriz se observan fragmentos angulosos de caliza *mudstone* negra con venas de calcita (fotografía 16, vista A y B).



Macroscópicamente esta unidad describe como una caliza *mudstone* bioclástica de coloración gris oscuro a negro, se observan pequeños fósiles menores a 2 mm, en su mayoría recristalizados por calcita (fotografía 17, vista A y B) y se muestran abundantes en el centro y escasos a nulos en la base y techo de la unidad, afectada por un sistema de venas de calcita que la corta perpendicularmente a la estratificación e indicios de karstisismo.

### FOTOGRAFÍA 17 VISTA MACROSCÓPICA DE CALIZA FOSILÍFERA



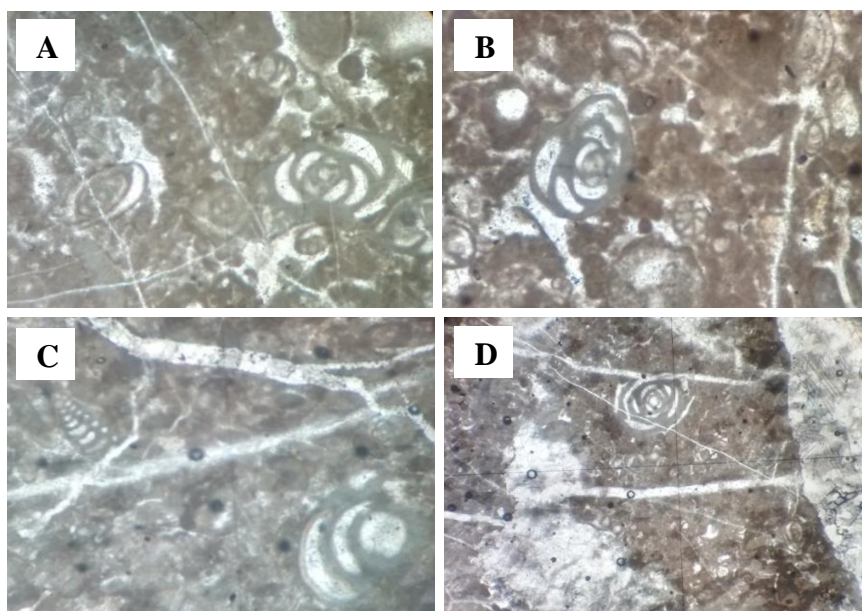
**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Microscópicamente se denomina una caliza *mudstone* bioclástica, con abundante contenido de microfósiles de la familia de los milíolidos, por su composición se clasifica como una biomicrita; todo el horizonte litológico tiene contenido de microfósiles en su mayoría recristalizados por calcita, pero existe un horizonte en la parte central de esta litología en el cual los microfósiles son claramente visibles y no presentan recristalización.

En la fotografía 18 se observan 4 vistas a nivel microscópico de los fósiles presentes en la Unidad de Caliza

fosilífera, en las cuales claramente se observan microfósiles de la familia de los milíolidos no diferenciados, se permite establecer con ello la ubicación de dicha unidad en el periodo Cretácico.

### FOTOGRAFÍA 18 VISTA MICROSCÓPICA DE CALIZA FOSILÍFERA



**Fuente:** Tomadas por Miguel Aguilar, julio de 2016.

#### h. Calizas cristalinas (KCo)

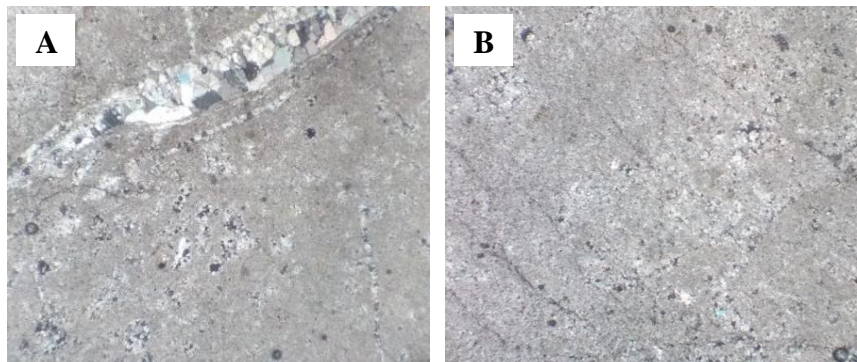
Aflora al norte del área de estudio en la zona de corona, aflora mejor en la parte más alta del anfiteatro, se accesa únicamente al lugar por el escarpe del deslizamiento.

Estratigráficamente se correlaciona esta unidad con la Formación Cobán superior, suprayace en contacto fallado evidenciado con *gouge* de falla de 5 m de espesor con Unidad de Caliza dolomítica fosilífera y subyace en contacto fallado con una Unidad de Caliza arrecifal de color gris ricas en rellenos de *chert*.

Macroscópicamente la unidad es una caliza cristalina de color gris claro y beige, con micro-cristales de calcita cristalina, eventualmente contenido de venas de calcita, ligeramente meteorizada, sin contenido fosilífero.

Microscópicamente texturalmente se clasifica como una caliza cristalina inequigranular xenotópica caracterizada por sus cristales anhedrales con sus caras mal formadas y por su composición como una caliza micrita (fotografía 19, vista B), presenta desarrollo de venas de calcita con cristales inequigranulares y anhedrales de mayor tamaño que el resto de la roca (fotografía 19, vista A).

### **FOTOGRAFÍA 19 VISTA MICROSCÓPICA DE CALIZA CRISTALINA**



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016.

#### **i. Caliza arrecifal (KCa)**

Ubicada al norte del área de estudio, fuera del polígono de investigación, ésta a diferencia del resto de unidades no aflora dentro del área afectada por el deslizamiento Los Chorros, los mejores afloramientos se encuentra en la carretera que conduce del municipio de San Cristóbal Verapaz a las comunidades de las Pacayas y Panajmay.

Estratigráficamente se localiza en el techo de la secuencia carbonática del área, correlacionada por su contenido fósil y características arrecifales con la formación Cámpur, suprayace en contacto fallado sobre calizas cristalinas grises de la Formación Cobán.

## FOTOGRAFÍA 20 AFLORAMIENTO DE CALIZA ARRECIFAL

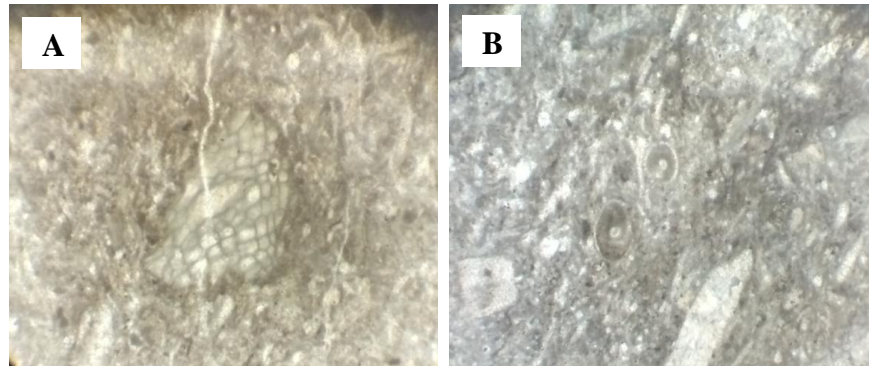


**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, mayo de 2016.

Macroscópicamente se define como caliza *mudstone* bioclástica de coloración gris ricas en contenido de *chert* depositado en paredes de fracturas y estructuras kársticas, la presencia de fósiles en su mayoría se observan recristalizados por calcita.

Microscópicamente se clasifica como una caliza *mudstone* con horizontes *wackestone* bioclástico, grano soportada, biomicrita con bioclastos del tipo alga marina no identificada (fotografía 21, vista A y B).

## FOTOGRAFÍA 21 VISTA MICROSCÓPICA DE CALIZA ARRECIFAL



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, julio de 2016.

La secuencia de edad cuaternaria presente en el área está conformada por depósitos de material reciente en su totalidad inconsolidados como lo son la ceniza volcánica, aluviones y coluviones los cuales se describen a continuación:

### **j. Ceniza volcánica (Qc)**

Estos depósitos se localizan al sur y a lo largo de las laderas del río Chixoy, sus mejores afloramientos se encuentran en la antigua carretera a aldea Agua Blanca y en cercanías a la bifurcación de la quebrada Agua Blanca y río Chixoy; presentan espesores máximos de hasta 60 m.

Esta unidad corresponde a depósitos de ceniza pomácea, de coloración blanca y rosada, en su mayoría compuesta por ceniza y en menor cantidad fragmentos pomáceos de 1 cm a 3 cm de diámetro.

## FOTOGRAFÍA 22 AFLORAMIENTO DE CENIZA VOLCÁNICA



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

### k. Aluviones (Qal)

Se ubican en las partes de poca pendiente a lo largo de las corrientes fluviales, principalmente de la quebrada Agua Blanca y río Chixoy, su máximo afloramiento está ubicado en la zona de abanico aluvial formado por la bifurcación de estas dos corrientes (fotografía 23).

## FOTOGRAFÍA 23 AFLORAMIENTO DE ALUVIONES



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Los depósitos aluviales están conformados por clastos redondeados y sub-redondeados de calizas, calizas dolomíticas, lulitas calcáreas, yeso y brechas calcáreas. El tamaño de grano varía desde limos a guijones.

#### **I. Coluviones (Qcol)**

Dentro de los coluviones se incluyen los depósitos provocados por deslizamientos, tanto el más reciente (Los Chorros) como otros movimientos de tierra predecesores a éste.

Se localizan en la base del anfiteatro del deslizamiento Los Chorros y a lo largo de la quebrada Xol, sus mayores afloramientos y exposiciones están en la base del anfiteatro ya que ahí se presentan los espesores de mayor tamaño y el paso de nuevas corrientes de agua han dado origen a la formación de valles juveniles que permiten apreciar los perfiles de estos depósitos.

Estos se caracterizan por ser depósitos heterogéneos caóticos, de fragmentos angulosos y muy angulosos, dentro de una matriz arcillo-arenosa no cementada e inconsolidada, muy mal clasificados y sin gradación alguna, no se observa orden alguno en cuanto a su depositación y granulometría, además es común encontrar fragmentos de materia orgánica atrapada dentro de estos depósitos, tales como árboles y plantas de menor tamaño.

## FOTOGRAFÍA 24 AFLORAMIENTO DE COLUVIONES



**Fuente:** Tomada por Miguel Aguilar, abril de 2016.

Para mostrar claramente la ubicación espacial y temporal de la geología del lugar se realizó un mapa geológico a escala 1:25 000 y un corte geológico a lo largo de la quebrada Agua Blanca y quebrada Xol (anexo 1), así también una columna lito-estratigráfica que muestra la secuencia de base a techo de todas las unidades litológicas (anexo 2).

### 3.2.2 Geología estructural

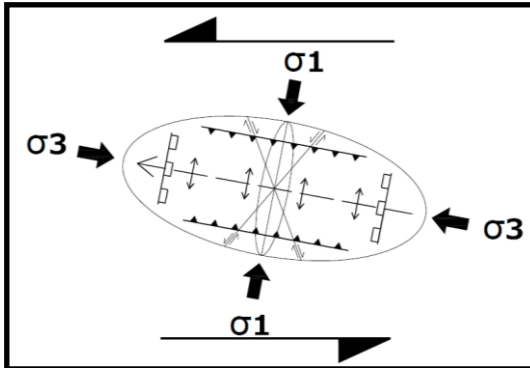
El área de estudio está fuertemente influenciada por el aspecto estructural ya que al sur se identifica la falla regional Chixoy-Polochic, la cual presenta un movimiento sinistral con componente normal, buzando  $\sim 75^\circ$  al norte.

Asociado a este sistema regional se identifican fallas normales con rumbo  $N010^\circ \pm 10^\circ$ , se identificaron las zonas de cabalgamiento con rumbo  $N110^\circ \pm 10^\circ$  y buzamiento  $\sim 35^\circ - 45^\circ$  al norte y sur, estos cabalgamientos ocurren preferencialmente sobre los planos de estratificación en toda el área de estudio y



sus alrededores; se identifica claramente un sistema de plegamiento regional el cual tiene rumbo  $N265^{\circ}\pm 10^{\circ}$ , con inmersión de  $\sim 40^{\circ}$  al oeste y vergencia de pliegues al sur.

**FIGURA 16**  
**ELIPSE DE DEFORMACIÓN**



Fuente: Elaboración propia, julio de 2016.

En la figura 16 se exponen gráficamente los esfuerzos principales  $\sigma_1=NE-SO$  y  $\sigma_3=NO-SE$ , por medio del elipsoide de deformación, en el cual se representa el movimiento sinistral provocado por la influencia directa del sistema de falla regional Chixoy-Polochic.

### 3.3 Calidad del macizo rocoso

Para cada una de las unidades litológicas se calculó el *RMR* de *Bieniawski* (1989), exceptuando las unidades inconsolidadas como la ceniza volcánica, aluviones y coluviones, esto por la poca confiabilidad de los resultados obtenidos en este tipo de materiales utilizando los métodos convencionales para el cálculo de calidad del macizo rocoso. En la tabla 3 se muestra la ubicación de cada uno de los afloramientos seleccionados para determinar la calidad del macizo rocoso.

**TABLA 3**  
**UBICACIÓN DONDE SE DETERMINÓ EL *RMR***

UNIDAD LITOLÓGICA	COORDENADAS <i>UTM</i>		ALTITUD msnm
	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
Lutita pizarrosa (PT)	1697625	762862	645
Caliza (PC)	1698610	762503	1044
Caliza dolomítica microclástica (KCo)	1701350	765055	1261
Yeso (KCo)	1701417	765153	1323
Lutita calcárea (KCo)	1701450	765471	1458
Calizas y Lutitas calcoarenosas(KCo)	1701432	765421	1483
Caliza dolomítica fosilífera (KCo)	1701986	764787	1504
Calizas cristalinas (KCo)	1702002	764775	1560
Caliza arrecifal (KCa)	1703365	765953	2105

**Fuente:** Elaboración propia, julio de 2017.

Se estableció el *RMR* básico a partir de la metodología propuesta por *Bieniawski* (1989)<sup>15</sup>, en la cual establece 5 parámetros de ponderación los cuales son: resistencia compresión simple de una roca intacta (*UCS*) por sus siglas en inglés, designación de calidad de roca (*RQD*) por sus siglas en inglés, el espaciamiento entre juntas, condiciones de juntas y el agua subterránea descritos con mayor detalle en la tabla 4.

---

<sup>15</sup> Luis I. Gonzales De Vallejo. Et. Al. *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Prentice Hall Pearson Educación, 2002, 230.

**TABLA 4  
PONDERACIÓN DE MACIZO ROCOSO**

<b>UCS (MPa)</b>						
>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25 (2)	<5 (1)	<1 (0)
<b>RQD (%)</b>						
90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		
<b>ESPACIAMIENTO (m)</b>						
>2 (20)	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	<0,06 (5)		
<b>CONDICIÓN DE JUNTAS</b>						
Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Intemperismo		
<1m (6)	Cerrada (6)	Muy rugosa (6)	Limpia (6)	Sana (6)		
1-3m (4)	<0,1mm (5)	Rugosa (5)	Duro < 5mm (4)	Ligeramente intemperizada (5)		
3-10m (2)	0,1-1mm (4)	Ligeramente rugosa (3)	Duro > 5mm (2)	Moderadamente intemperizada (3)		
10-20m (1)	1-5mm (1)	Lisa (1)	Suave < 5mm (1)	Muy intemperizada (2)		
>20m (0)	>5mm (0)	Espejo falla (0)	Suave > 5mm (0)	Descompuesta (0)		
<b>AGUA SUBTERRÁNEA</b>						
Seco (15)	Húmedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		

**Fuente:** Modificado de *Engineering rock mass classifications*, Bieniawski, Z.T. 1989.

Por medio de análisis de campo con el uso del martillo de geólogo y basado en los parámetros establecidos por la *ISRM* (1981), se determinó la resistencia a compresión uniaxial como se detalla en tabla 5.

**TABLA 5**  
**ÍNDICE DE RESISTENCIAS**

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS	UCS MPa
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con mas de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

**Fuente:** Modificado de *Rock Characterization, Testing and monitoring, ISRM. 1981.*

El *RQD* se determinó utilizando la grafica de correlación de *RQD* versus el espaciamento de discontinuidades (tabla 6), la cual permite establecer rápidamente el *RQD* de una zona determinada con el promedio de espaciamento entre las discontinuidades que la afectan, herramienta muy útil al momento de calcular el *RQD* de una zona en la que no se tiene núcleos perforados de muestra de roca, *Priest y Hudson (1976)* basa su análisis en el número de fisuras por metro lineal, este se determina en un tramo longitudinal de pared expuesta, formulado de la siguiente manera:

$$RQD = 100e^{-0,1\lambda} \times (0,1\lambda + 1)$$

Donde:  $\lambda$  = Nro. De Fisuras / Espacio (Span)

**TABLA 6**  
**ÍNDICE DE INTEMPERIZACIÓN**

<b>GRADO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ÍNDICE DE INTEMPERIZACIÓN</b>
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera de coloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	La decoloración indica intemperismo del material rocoso y superficie de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEMPERIZADA	Más de la mitad del material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.
V DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

**Fuente:** Modificado de *Rock Characterization, Testing and monitoring, ISRM (1981.)*

Con los parámetros descritos anteriormente *Bieniawski (1989)* define 5 clases de macizo rocoso definidos por un rango de ponderación creciente de 20 unidades por cada uno de ellos (tabla 7)

**TABLA 7**  
**CLASES DE MACIZO ROCOSO**

<b>RMR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
100 - 81	I - MUY BUENA
80 - 61	II - BUENA
60 - 41	III - REGULAR
40 - 21	IV - MALA
< 20	V - MUY MALA

**Fuente:** Modificado de *Bieniawski 1989.*

En la tabla 8 se exponen los resultados de *RMR* obtenidos para cada unidad litológica, estos valores se encuentran entre 25 y 57, correspondientes a macizo rocoso de calidad mala y regular. Se estableció que las rocas inconsolidadas son de clase V (muy mala). La descripción completa sobre los resultados obtenidos se encuentra representados en la columna lito-estratigráfica (anexo 2) y detallado en los descriptores de campo (anexos 3 al 11) lo cual permite su visualización espacial respecto a la estratigrafía del lugar.

**TABLA 8**  
**CALIDAD DE MACIZO ROCOSO**

LITOLOGÍA	UCS	RQD	ESPACIAMIENTO	CONDICIÓN DE JUNTAS	AGUA SUBTERRÁNEA	RMR BÁSICO	CLASE
Lutita Pizarrosa (Pt)	4	3	5	8	10	30	Mala (IV)
Caliza (Pc)	7	13	10	15	10	55	Regular (III)
Caliza Dolomítica Microclástica (Kco)	7	13	8	10	4	42	Regular (III)
Yeso (Kco)	2	3	5	8	7	25	Mala (IV)
Lutita Calcareo (Kco)	4	3	5	11	15	38	Mala (IV)
Calizas Y Lutitas Calco-Arenosas (Kco)	7	8	8	10	7	40	Mala (IV)
Caliza Dolomítica Fosilífera (Kco)	7	13	8	8	0	36	Mala (IV)
Calizas Cristalinas (Kco)	7	13	10	13	7	50	Regular (III)
Caliza Arrecifal (Kca)	7	17	10	16	7	57	Regular (III)

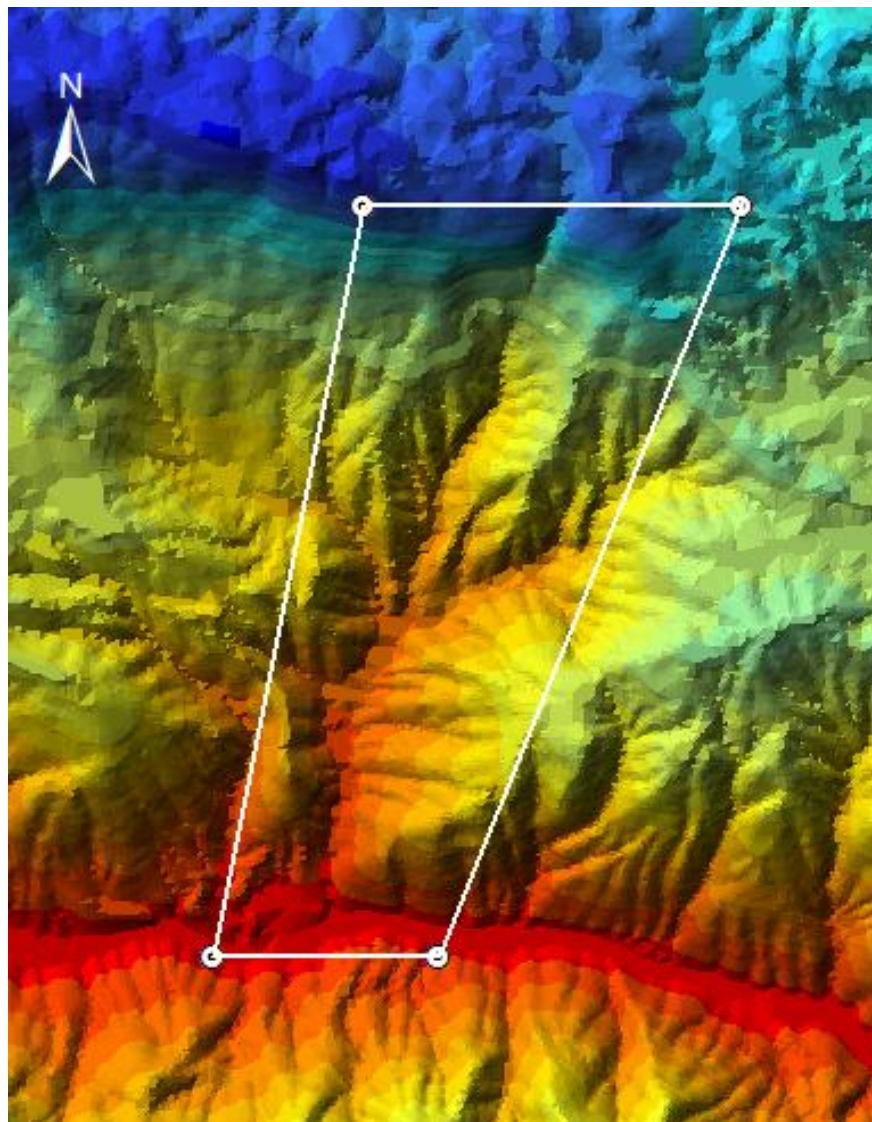
**Fuente:** Elaboración propia, julio de 2017.

### 3.4 Modelo de elevación

El modelo de elevación es la representación gráfica y visual de alturas respecto al nivel del mar, elaborado a partir de las curvas de nivel a cada 20m establecidas en el mapa topográfico del IGN, este modelo de

elevación para el área de Los Chorros se aprecia con escala de colores con intervalos de 100 m de altitud en la mapa 3 y en el anexo 12 en este último a una escala 1:25 000.

### MAPA 3 MODELO DE ELEVACIÓN LOS CHORROS



**Fuente:** Elaboración propia, julio de 2017.

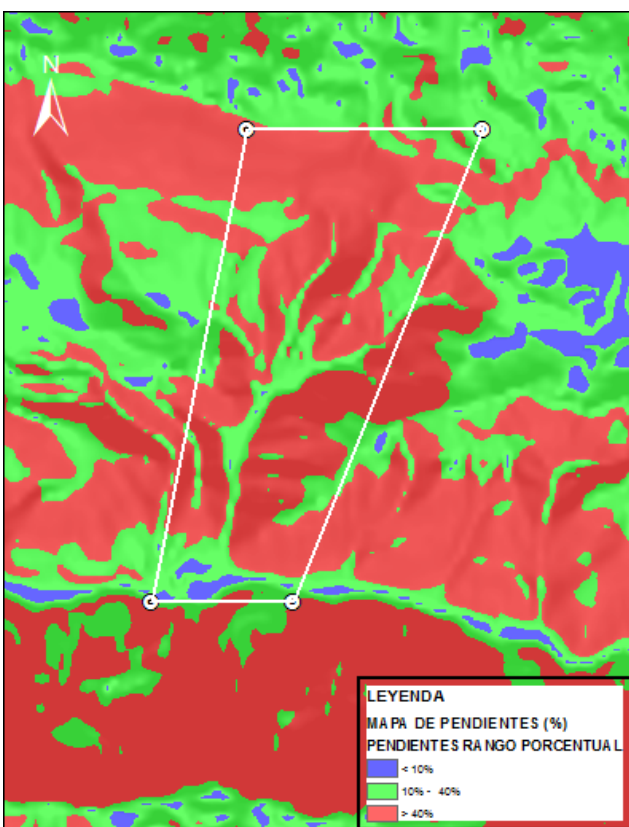
El modelo de elevación permite caracterizar las formas del relieve y los elementos que lo conforman; en él se aprecian diferencias de altura

entre la cota más alta (2 240 msnm) y la más baja (620 msnm), facilita la interpretación del relieve y los elementos que lo conforman.

### 3.5 Mapa de pendientes

En el mapa de pendientes (mapa 4) se representan tres rangos porcentuales de pendientes <10 %, 10-40 % y >40 % propuestos por *Peña Monné ET.AL.*, para definir zonas de riesgo en terrenos carbonáticos y evaporíticos, aspectos de inmensa relevancia para determinar los factores condicionantes del proceso de falla (ver sección 3.5.4). El mapa 4 representa gráficamente las pendientes porcentuales de la zona cercana al deslizamiento Los Chorros y en el anexo 13 se presenta a escala 1:25 000.

**MAPA 4**  
**MAPA DE PENDIENTES LOS CHORROS**



Fuente: Elaboración propia, julio de 2017.



### **3.6 Geomorfología**

Toma un valor muy importante en los eventos relacionados a movimiento de tierra, para determinar los elementos que definen el relieve.

El deslizamiento Los Chorros desencadenó cambios significativos en el relieve del área de estudio, originó geoformas de origen agradacional, denudacional y antrópicos.

Según *Peña Monné, ET.AL. (1997)* en geomorfología como en otras geociencias, la forma gráfica de plasmar de una forma clara y concreta la distribución y configuración espacial los elementos que definen el relieve es por medio de un mapa geomorfológico, para este caso en particular se auxilió de un conjunto de herramientas como el mapa geológico, fotografías aéreas y satelitales, modelo de elevación y el mapa de pendientes.

#### **3.6.1. Mapa geomorfológico**

El deslizamiento Los Chorros cambió drásticamente la morfología y relieve de la zona, con el análisis de fotografías aéreas, imágenes satelitales y caminamientos se realizó un mapa geomorfológico básico a escala 1:10 000 (anexo 14). Al considerar la importancia y los objetivos se enfatizó en detallar geoformas de mayor trascendencia generadas durante el deslizamiento Los Chorros, enfocado en mostrar las unidades genéticas del relieve se resaltan las unidades y morfogénesis degradacional, agradacional, estructural y antrópica.

##### **a. Unidad de origen degradacional**

Las geoformas degradacionales o de origen denudacional son aquellas originadas por procesos de

degradación como la erosión y la meteorización, estos dos procesos de gran impacto en el relieve del terreno.

Dentro de esta unidad se detallan geoformas representativas, tales como, escarpes de deslizamiento, quebradas y ríos, paleovalles de quebradas originales previas al deslizamiento Los Chorros, valles juveniles originados por la formación de quebradas post-deslizamiento y pendientes del terreno del antiguo relieve.

**b. Unidad de origen agradacional**

Unidad conformada por geoformas de origen agradacional o acumulativo del tipo aluvial y coluvial, éstas son producto de la acumulación de material alóctono.

Las geoformas identificadas principalmente fueron formadas por el deslizamiento Los Chorros, el material desplazado dio origen a lóbulos que conforman el depósito, flujos de lodo y un abanico al final del mismo. Además se identificaron pequeños montículos a un costado del anfiteatro, los cuales son coluviones que corresponden a antiguos deslizamientos.

Otras geoformas de origen acumulativo son las terrazas aluviales y abanicos aluviales presentes en zonas planas de baja pendiente.

**c. Unidad de origen estructural**

Unidad conformada por aquellas geoformas directamente controladas por la geología del lugar, como relieves representativos de una litología dada, estructuras regionales y locales como pliegues y fallas.

Las geoformas representativas identificadas son lineamientos, parteaguas, fallas geológicas, relieve cárstico y volcánicos inconsolidados.

**d. Unidad de origen antrópico**

Conformada por geoformas de origen antrópico, al igual que otras moldean y forman el relieve de la zona. Son aquellas hechas por intervención directa del hombre, tales como: el canal artificial para drenaje y direccionamiento de quebrada Agua Blanca, las rutas, carreteras y taludes, los vertederos de basura y un lóbulo artificial originado por una voladura controlada en el anfiteatro del deslizamiento.

El mapa geomorfológico permitió establecer las características del deslizamiento, tales como, su estructura, geometría y morfometría, fue pieza fundamental en la caracterización del deslizamiento y del movimiento del material desplazado, permitió establecer la ubicación preferencial de los lóbulos resultantes para el análisis granulométrico y conteo de clastos.

### **3.7 Caracterización del deslizamiento**

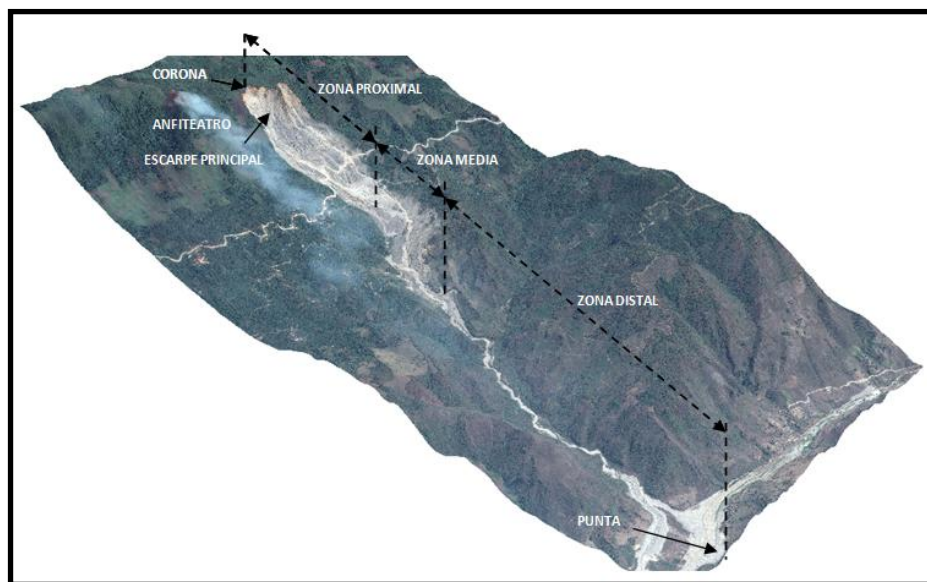
Para caracterizar el deslizamiento Los Chorros se enfatizó en la estructura del mismo al definir con ello sus zonas distal, media y proximal; la geometría permitió el cálculo de parámetros morfométricos incluidos entre ellos el volumen desplazado para cada evento; se caracterizó el movimiento al considerar factores como el tipo de material, ampliamente estudiado por el conteo sistemático de clastos, tanto para determinar las litologías predominantes en los lóbulos como su granulometría, se especificaron otras características para determinar el tipo de deslizamiento ocurrido.

Con la geomorfología del depósito, el video del deslizamiento y la información recabada sobre lo sucedido, se determinaron cuatro eventos naturales en el deslizamiento Los Chorros y un evento posterior generado por actividad antrópica por medio de una explosión planificada, se nombraron por orden cronológico con las letras A, B, C, D y E, respectivamente.

### 3.7.1 Estructura

La estructura del deslizamiento Los Chorros tiene 3 zonas fuertemente marcadas por rasgos geomorfológicos y características del depósito, estas son: zona proximal, zona media y zona distal, las cuales se ven claramente identificadas en la figura 17.

**FIGURA 17**  
**ESTRUCTURA DE DESLIZAMIENTO LOS CHORROS**



Fuente: Elaboración propia, enero de 2017.

#### a. Zona proximal

Incluye la zona de ocurrencia del movimiento representado por la corona, anfiteatro y el escarpe de falla

(figura 17), así también la sección proximal del depósito caracterizado por facies de bloques y mega-bloques dentro de una escaza matriz de finos y con corto desplazamiento desde la zona de procedencia.

**b. Zona media**

Representada por la parte media del depósito donde sobresale la presencia de bloques dentro de abundante matriz, se caracteriza por la formación de lóbulos de gran espesor, zona donde se depositó la mayor cantidad de volumen desplazado, generadores de nuevos valles y deslizamientos de menor envergadura.

**c. Zona distal**

Comprende los flujos de lodos y material de baja energía, desplazado y canalizado dentro del valle angosto de quebrada Agua Blanca hasta formar un abanico en el cauce del río Chixoy, se caracteriza por la formación de terrazas y montículos pequeños de pocos metros, formado por bloques, guijones y gujarros dentro de abundante matriz de finos.

**3.7.2 Geometría y morfometría**

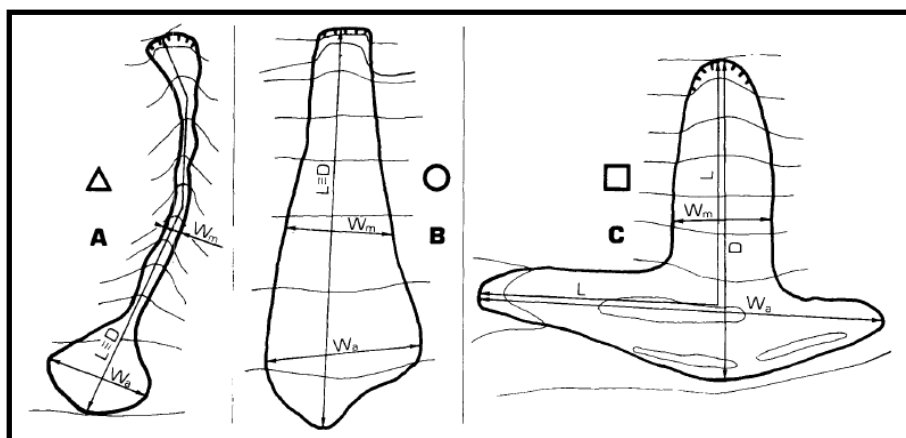
La forma real de una avalancha se puede clasificar en 3 tipos según *Nicoletti y Sorriso-Valvo (1991)*, “1) Forma alargada de reloj de arena; 2) Forma casi ovalada, trapecio alargado o forma de lengua y 3) Forma de T deformada”<sup>16</sup> representadas gráficamente en la figura 18.

---

<sup>16</sup> Pier Giorgio Nicoletti y Marino Sorriso-Valvo. . “Geomorphic controls of the shape and mobility of rock avalanches”. *Geological Society of America Bulletin*. 103, 10, (Octubre 1991), 1370.

A simple vista el deslizamiento Los Chorros tiene una geometría claramente marcada la cual corresponde a la forma 1 de las 3 configuraciones que una avalancha de roca puede asumir por control geomórfico como se muestra en la figura 18, “dicha geometría corresponde a una avalancha de roca de alta movilidad, determinado por el control de baja disipación de energía”<sup>17</sup>; el depósito se canaliza a través de un estrecho valle, por lo tanto evidencia una geometría angosta en la zona media y gran parte de la zona distal y ancha en los extremos en la zona proximal y muy ancha en la parte final en la zona distal, en este caso en específico, en el abanico formado sobre el valle del río Chixoy.

**FIGURA 18**  
**CONFIGURACIONES QUE UNA AVALANCHA DE**  
**ROCA PUEDE ASUMIR COMO RESULTADO DEL**  
**CONTROL GEOMORFOLÓGICO**



Fuente: Modificado de Nicoletti y Sorriso-Valvo (1991).

Si bien es cierto, que la morfología del deslizamiento visto desde el aire muestra la impresión de pertenecer a la configuración antes descrita, es importante hacer énfasis en que

<sup>17</sup> *Ibidem*,. 1368.

el deslizamiento Los Chorros es un movimiento de masa múltiple de 4 eventos, de los cuales el primero de ellos (A), corresponde a dicho control morfológico y los restantes 3 corresponden al control morfológico de la forma 2.

Casi ovalado, trapecio alargado o con forma de lengua, esta ocurre cuando es libre de restricciones laterales, puede extenderse lateralmente mientras desciende, deteniéndose en un valle amplio y plano, considerados bajo un control geomórfico de moderada disipación de energía<sup>18</sup>

Determinado gráficamente el tipo de control geomórfico que corresponde a cada uno de los eventos del deslizamiento Los Chorros, se determinó matemáticamente los parámetros morfométricos, índices de forma y movilidad para confirmar la configuración de control geomórfico, para ello *Nicoletti y Sorriso-Valvo* (1991) proponen los siguientes parámetros característicos expuestos en tabla 9.

**TABLA 9**  
**PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS 3**  
**TIPOS DE CONTROL GEOMÓRFICO**

CONTROL GEOMÓRFICO	Vd (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Le/L (M ± σ)	H/L (M ± σ)	W <sub>n</sub> /W <sub>s</sub> (M ± σ)	W <sub>n</sub> /D (M ± σ)	W <sub>s</sub> /D (M ± σ)	D/L
BAJA DISIPACIÓN DE ENERGÍA	< 100	0.64 ± 0.10	0.22 ± 0.06	0.49 ± 0.32	0.11 ± 0.10	0.22 ± 0.14	1
MODERADA DISIPACIÓN DE ENERGÍA	Any	0.66 ± 0.11	0.21 ± 0.07	0.76 ± 0.30	0.26 ± 0.13	0.38 ± 0.31	1
ALTA DISIPACIÓN DE ENERGÍA	Any	0.56 ± 0.16	0.28 ± 0.10	0.36 ± 0.15	0.36 ± 0.17	1.06 ± 0.43	0.5 – 0.9

Fuente: Modificado de *Nicoletti y Sorriso-Valvo* (1991).

De acuerdo a *Nicoletti y Sorriso-Valvo* (1991) los datos morfométricos se obtienen de mediciones hechas de los criterios y definiciones siguientes:

<sup>18</sup> *Ibidem.*, 1368

- L: es la componente horizontal de la distancia total recorrida de la avalancha de rocas en metros, medida entre el punto más alto en la corona del escarpe y el punto final del recorrido de la avalancha.
- D: es la longitud de la avalancha de rocas medida en metros, desde la corona hasta el punto final de la zona distal.
- H: es la diferencia de elevación medida en metros, entre los dos puntos definidos por los extremos de la distancia recorrida (L).
- Le: es la distancia excesiva recorrida en metros, definida por Hsü (1975) como  $Le = L - H/\tan 32^\circ$ .
- Wm: es la componente horizontal medida en metros del ancho de la avalancha de rocas medida en el punto medio de la longitud de la avalancha (D), por tanto se expresa como el ancho en metros de D/2.
- Wa: es la componente horizontal medida en metros del ancho máximo de la zona del depósito.

Las relaciones  $Le/L$  y  $H/L$ : son índices de movilidad y las relaciones  $Wm/Wa$ ,  $Wm/L$ ,  $Wm/D$ ,  $Wa/L$  y  $Wa/D$ : son índices que describen la forma de una avalancha de rocas.

En la tabla 10 se detallan los parámetros morfométricos, obtenidos de las mediciones geométricas del deslizamiento para cada uno de los 4 eventos.



**TABLA 10**  
**PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS PARA EL**  
**DESLIZAMIENTO LOS CHORROS**

EVENTO	L (m)	D (m)	D/L	H (m)	Le (m)	Wm (m)	Wa (m)
A	5 402	5 402	1	1 330	3 257	102,0	2 393,6
B	1 859	1 859	1	950	326	371,3	408,8
C	1 447	1 447	1	850	76	232,7	405,2
D	988	988	1	690	-125	279,1	290,8

**Fuente:** Elaboración propia con medidas obtenidas en software *ArcGis 10.0*, 2017.

En la tabla 11 se muestran los índices de movilidad y descripción de forma que definen el comportamiento de cada uno de los 4 eventos ocurridos en el deslizamiento Los Chorros.

**TABLA 11**  
**ÍNDICES DE MOVILIDAD Y DESCRIPCIÓN DE**  
**FORMA PARA EL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS**

EVENTO	Le/L	H/L	Wm/Wa	Wm/L	Wm/D	Wa/L	Wa/D
A	0,60	0,25	0,04	0,02	0,02	0,44	0,44
B	0,18	0,51	0,91	0,20	0,20	0,22	0,22
C	0,05	0,59	0,57	0,16	0,16	0,28	0,28
D	-0,13	0,70	0,96	0,28	0,28	0,29	0,29

**Fuente:** Elaboración propia calculado según propuesta de *Nicoletti y Sorriso-Valvo (1991)*, 2017.

Otro parámetro importante para la clasificación de una avalancha es el volumen desplazado ( $V_d$ ), se calculó para cada evento según el tipo de disipación de energía correspondiente, para el evento A de baja disipación de energía ( $L_i$ ) y para los eventos B, C y D de moderada disipación de energía ( $L_m$ ); se utilizaron las ecuaciones propuestas por *Nicoletti y Sorriso-Valvo (1991)*, donde considera la relación del volumen desplazado y la componente horizontal de la desviación total (L).

$$L_l = -11.10 + 23.60 \log Vd,$$

$$L_m = -1.22 + 4.66 \log Vd,$$

$$L_h = -4.38 + 5.11 \log Vd,$$

Donde, L es en kilómetros y Vd en millones de metros cúbicos. Considerar que en este caso la estimación de H no es necesaria”<sup>19</sup>

Al considerar las ecuaciones anteriores se calculó el volumen desplazado para cada uno de los eventos, el resultado se describe en la tabla 12.

**TABLA 12**  
**CÁLCULO DE VOLÚMENES DESPLAZADOS EN**  
**DESLIZAMIENTO LOS CHORROS**

EVENTO	L (km)	Vd (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Vacum (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
A	5,4	5,0	5,0
B	1,9	4,6	9,6
C	1,4	3,7	13,3
D	1,0	3,0	16,3

**Fuente:** Elaboración propia con medidas obtenidas en software *ArcGis 10.0* y calculado según propuesta de *Nicoletti y Sorriso-Valvo (1991)*, 2017.

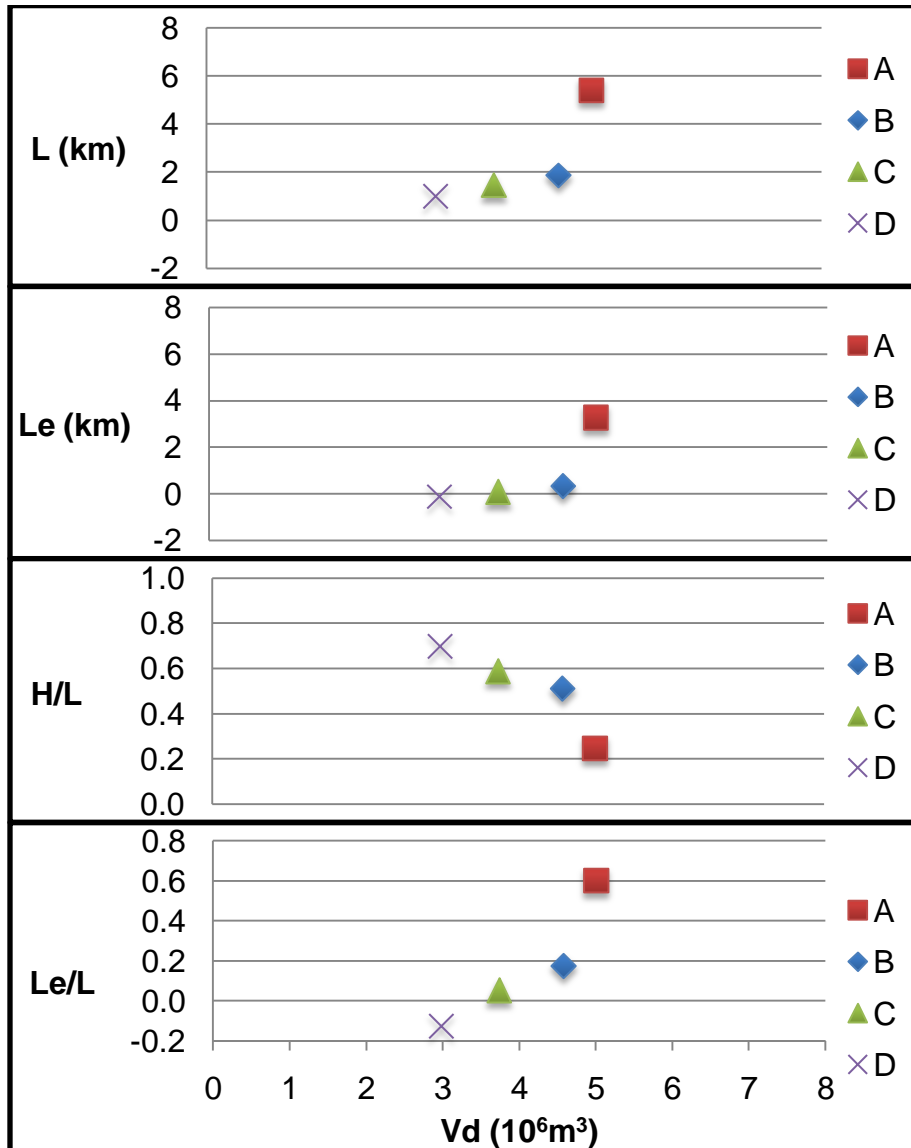
El volumen total desplazado en el deslizamiento Los Chorros es de 16,3 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> como se muestra en el volumen acumulado en la tabla 11, considerado como el volumen total de los 4 eventos ocurridos.

Calculados todos los volúmenes desplazados, los parámetros morfométricos, índices de movilidad e índices de descripción de forma obtenida de la geometría del deslizamiento Los Chorros, estos se representan gráficamente para determinar las características, similitudes y diferencias entre los 4 eventos.

---

<sup>19</sup> *Ibidem.*, 1372 y 1373.

**GRÁFICA 1**  
**PARÁMETROS RELACIONADOS A LA MOVILIDAD**  
**VERSUS VOLUMEN DESPLAZADO**



Fuente: Elaboración propia, enero de 2017.

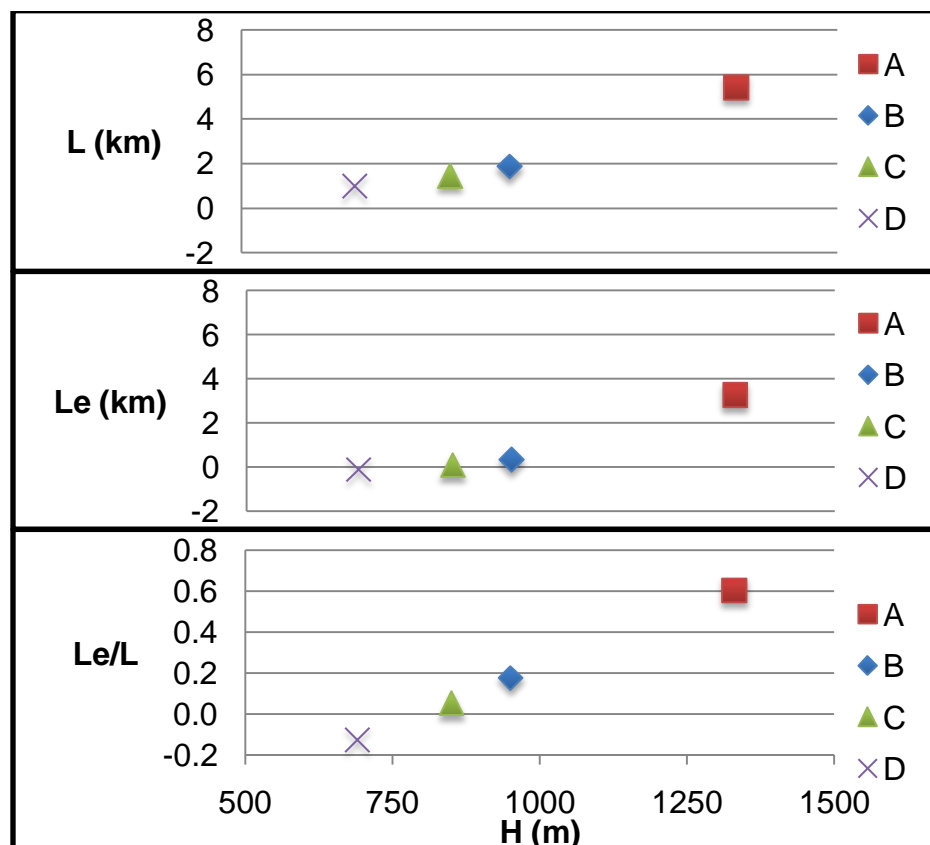
En la gráfica 1 se observan los parámetros relacionados a la movilidad  $L$ ,  $Le$ ,  $H/L$  y  $Le/L$  versus el volumen desplazado ( $V_d$ ), mostrando resultados muy concretos:

- A mayor longitud total ( $L$ ) mayor volumen desplazado ( $V_d$ ).
- Por encima de los  $3 \times 10^6 m^3$  de volumen desplazado se observa una distancia de viaje excesiva, mientras debajo de

este volumen la distancia recorrida es menor a la longitud esperada para un deslizamiento por una pendiente con un coeficiente de fricción normal de  $\text{Tan}32^\circ$  (Hsü, 1975), esto expuesto en la gráfica 1 en relación  $L_e/L$  versus  $V_d$ , en el que se muestra que a mayor volumen desplazado mayor longitud excesiva y movilidad.

- La relación  $H/L$  respecto volumen desplazado ( $V_d$ ) muestra que a mayor volumen desplazado menor dependencia y movilidad de longitud total ( $L$ ) respecto de la elevación ( $H$ ).

**GRÁFICA 2**  
**PARÁMETROS RELACIONADOS A LA MOVILIDAD**  
**VERSUS ALTURA**

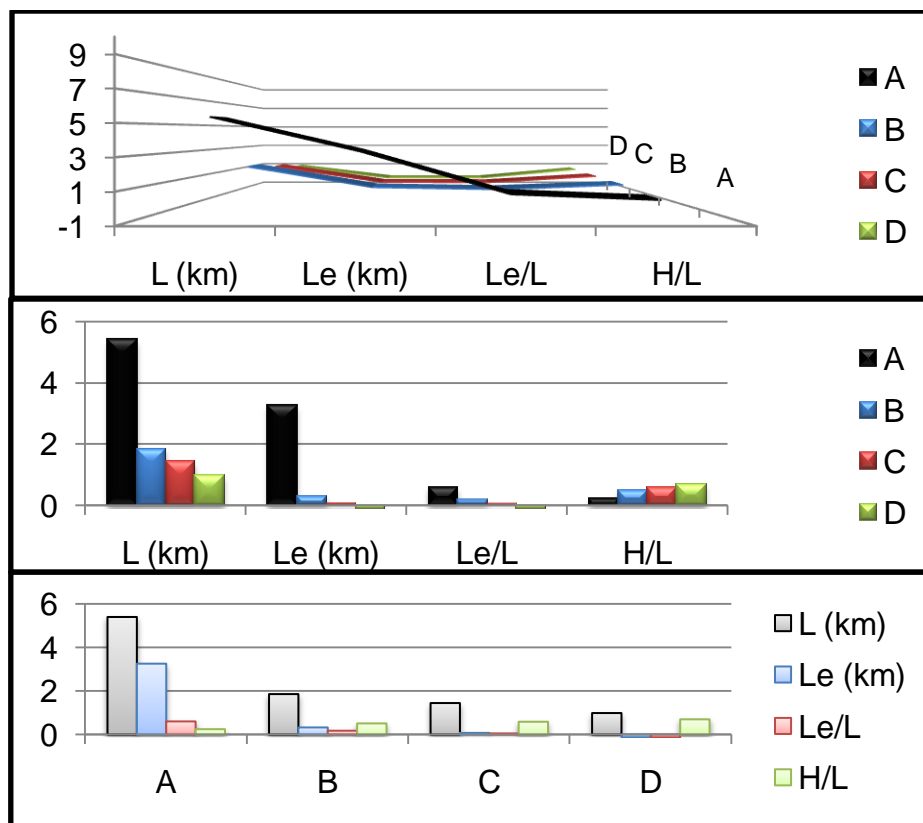


Fuente: Elaboración propia, enero de 2017.

En los gráficos 1 y 2 se observa que el evento con mayor movilidad es aquel con baja disipación de energía (evento A) y por tanto, menor movilidad aquellos con moderada disipación de energía (eventos B, C y D).

Al analizar los datos de la gráfica 2 se observa una tendencia creciente de la movilidad con el incremento de la diferencia de elevación (H), así también, se interpreta que los eventos con moderada disipación de energía presentan un bajo componente horizontal de longitud total (L) y baja a nula distancia de viaje excesiva (Le).

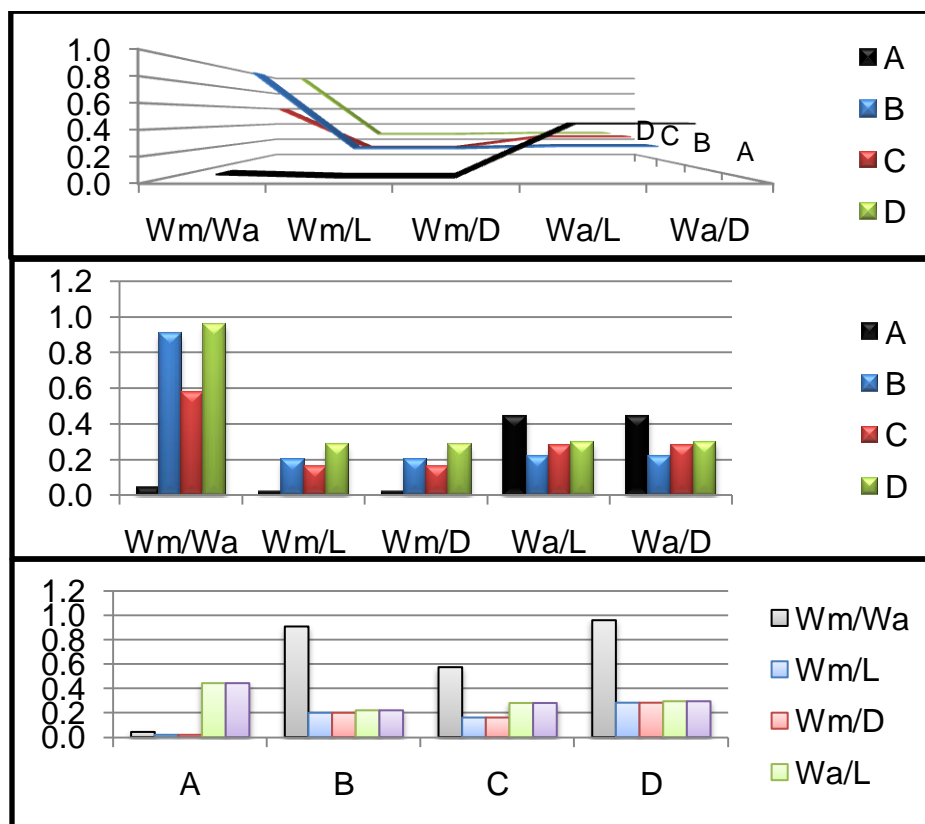
### GRÁFICA 3 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS E ÍNDICES DE MOVILIDAD



Fuente: Elaboración propia, enero de 2017.

Las características morfométricas e índices de movilidad para cada evento se exponen de forma gráfica para cada uno de ellos (gráfica 3), se evidencian patrones similares de comportamiento para los eventos de moderada disipación de energía (eventos B, C y D ) y otro patrón de comportamiento distinto para el evento A, lo que confirma lo determinado por el método gráfico.

**GRÁFICA 4**  
**ÍNDICES DE FORMA**



Fuente: Elaboración propia, enero de 2017.

Los índices de forma expuestos en la gráfica 4 confirman la distinción entre los eventos de baja y moderada disipación de energía, muestran un patrón para el evento A y otro diferente para los eventos B, C y D pero similar entre sí, reafirman lo determinado por el método gráfico.

### 3.7.3 Caracterización del movimiento

Para caracterizar el movimiento se inició con la caracterización del depósito en base al análisis sistemático de conteo de clastos en los lóbulos resultantes, que permitió determinar el contenido litológico de cada uno de éstos y la gravelometría de gruesos con el analizador de tamaño de partículas *US SAH-97<sup>TM</sup>*, así también, se hace referencia a otras características del movimiento, tales como, humedad, secuencia de repetición, velocidad, estilo y estado de actividad.

#### a. Tipo de material

El tipo de material desplazado en el deslizamiento Los Chorros es roca, para establecer la disposición litológica y su relación con en el depósito se determinaron 11 estaciones para conteo sistemático de puntos, en la tabla 13 se describe la información para cada una de éstas.

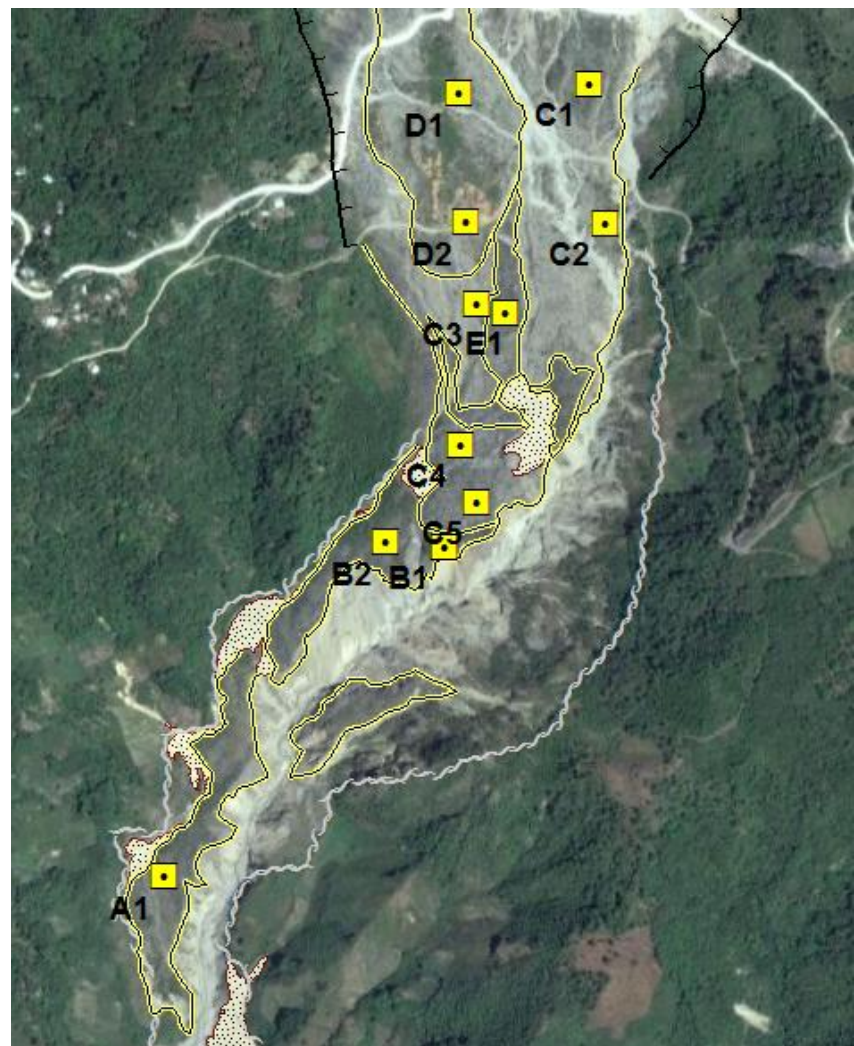
**TABLA 13  
CONTEO SISTEMÁTICO DE PUNTOS**

No	EVENTO	CONTEO	COORDENADAS <i>UTM</i>		ALTURA msnm
			NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
1	A	A1	1700554	764419	1051
2	B	B1	1701019	764814	1218
3	B	B2	1701026	764732	1215
4	C	C1	1701673	765019	1390
5	C	C2	1701477	765041	1328
6	C	C3	1701363	764860	1302
7	C	C4	1701163	764837	1217
8	C	C5	1701083	764861	1223
9	D	D1	1701660	764836	1381
10	D	D2	1701478	764845	1322
11	E	E1	1701349	764900	1314

**nte:** Elaboración propia, Noviembre de 2016.

La distribución espacial de los conteos de puntos puede apreciarse en la figura 19 y a escala 1:5 000 en el anexo 15, sobrepuestos en la imagen satelital de *google maps*, así también los límites establecidos para cada lóbulo resultante de los 4 eventos correspondientes al deslizamiento Los Chorros.

**FIGURA 19**  
**UBICACIÓN DE CONTEO DE PUNTOS**

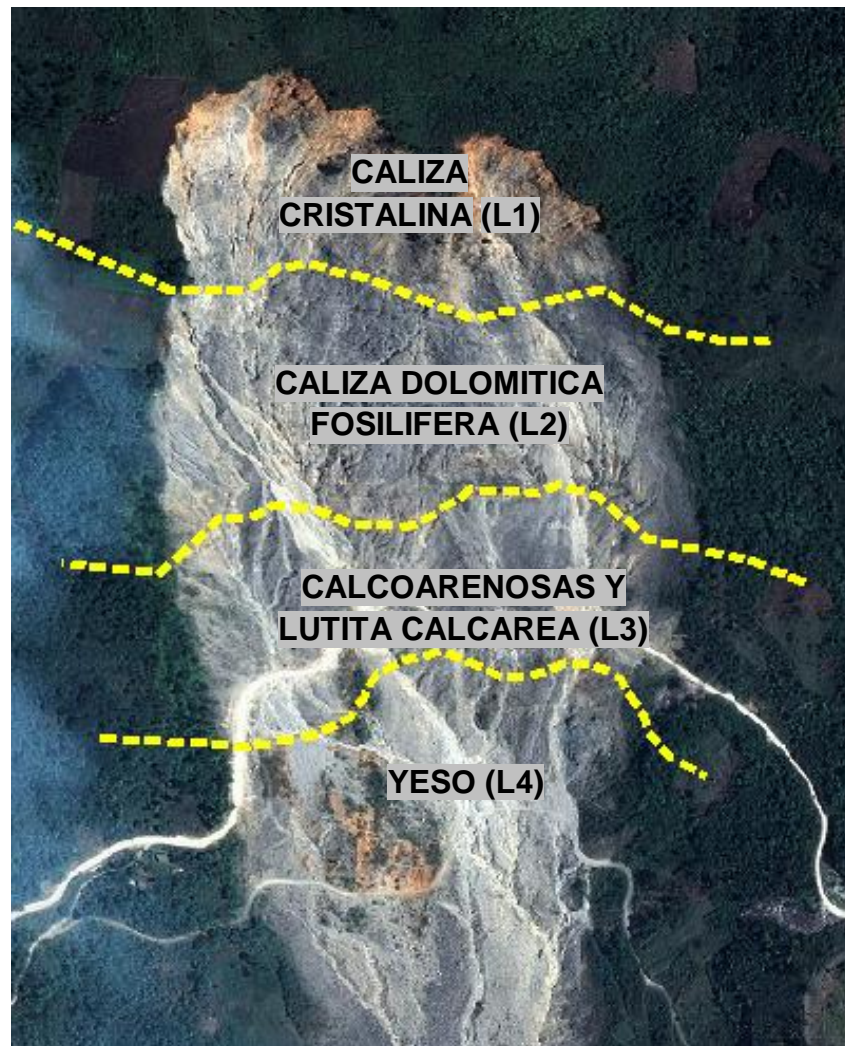


**Fuente:** Elaboración propia, noviembre de 2016.



La zona de corona está formada por 4 litologías y forman parte del anfiteatro, estas son: yeso bandeado, lutitas calcáreas y calcóarenosas, caliza dolomítica fosilífera y caliza cristalina descritas ampliamente en sección 3.2.2 (geología local) y representada en la figura 20.

**FIGURA 20**  
**CORONA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS**



**Fuente:** Elaboración propia, imagen satelital *google maps* y mapa geológico, 2017.

Los conteos sistemáticos con el uso del método de conteo de puntos sobre las intersecciones de una cuadrícula de tamaño variado dependen de las características encontradas en cada una de las locaciones y lóbulos se representan numéricamente en tabla 14.

**TABLA 14**  
**RESULTADOS DE CONTEO SISTEMÁTICO**

<b>CONTEO</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>TOTAL</b>
<b>A1</b>	9	71	8	26	114
<b>B1</b>	3	114			117
<b>B2</b>	28	83			111
<b>C1</b>	12	96			108
<b>C2</b>	4	107	5		116
<b>C3</b>	31	72			103
<b>C4</b>	44	66			110
<b>C5</b>	2	99			101
<b>D1</b>	100	23	2		125
<b>D2</b>	97	4			101
<b>Total</b>	<b>330</b>	<b>735</b>	<b>15</b>	<b>26</b>	<b>1106</b>
<b>%</b>	<b>29,8%</b>	<b>66,5%</b>	<b>1,4%</b>	<b>2,3%</b>	<b>100%</b>
<b>E1</b>		148			148

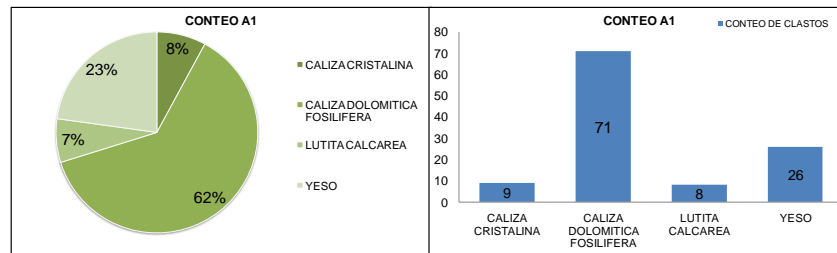
**Fuente:** Investigación de Campo, enero de 2017.

Los conteos sistemáticos indican que la mayor cantidad de material desplazado fue la caliza dolomítica fosilífera con el 66,5 %, caliza cristalina de 29,8 %, lutita calcárea 1,4 % y yeso 2,3 %. El conteo sistemático del evento E no se contabilizó en los totales por ser de origen antrópico por medio de explosivos.

El conteo sistemático para el evento A se realizó en la zona media, tiene la característica de contener todas las litologías de la corona (gráfica 5), el mayor porcentaje presente es de caliza dolomítica y sobresaliente el

contenido de yeso (único lóbulo que lo contiene) lo cual se correlaciona con la base de la estratigrafía de la corona.

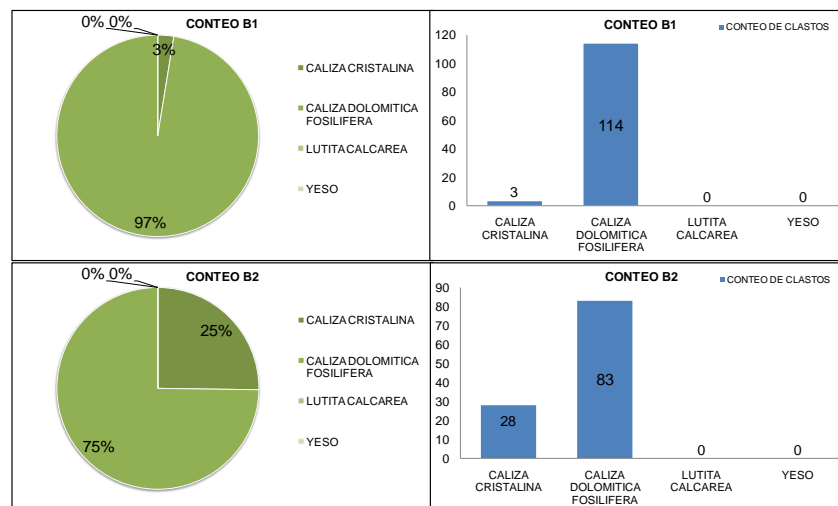
## GRÁFICA 5 CONTEO SISTEMÁTICO PARA EVENTO A



Fuente: Investigación de campo, enero de 2017.

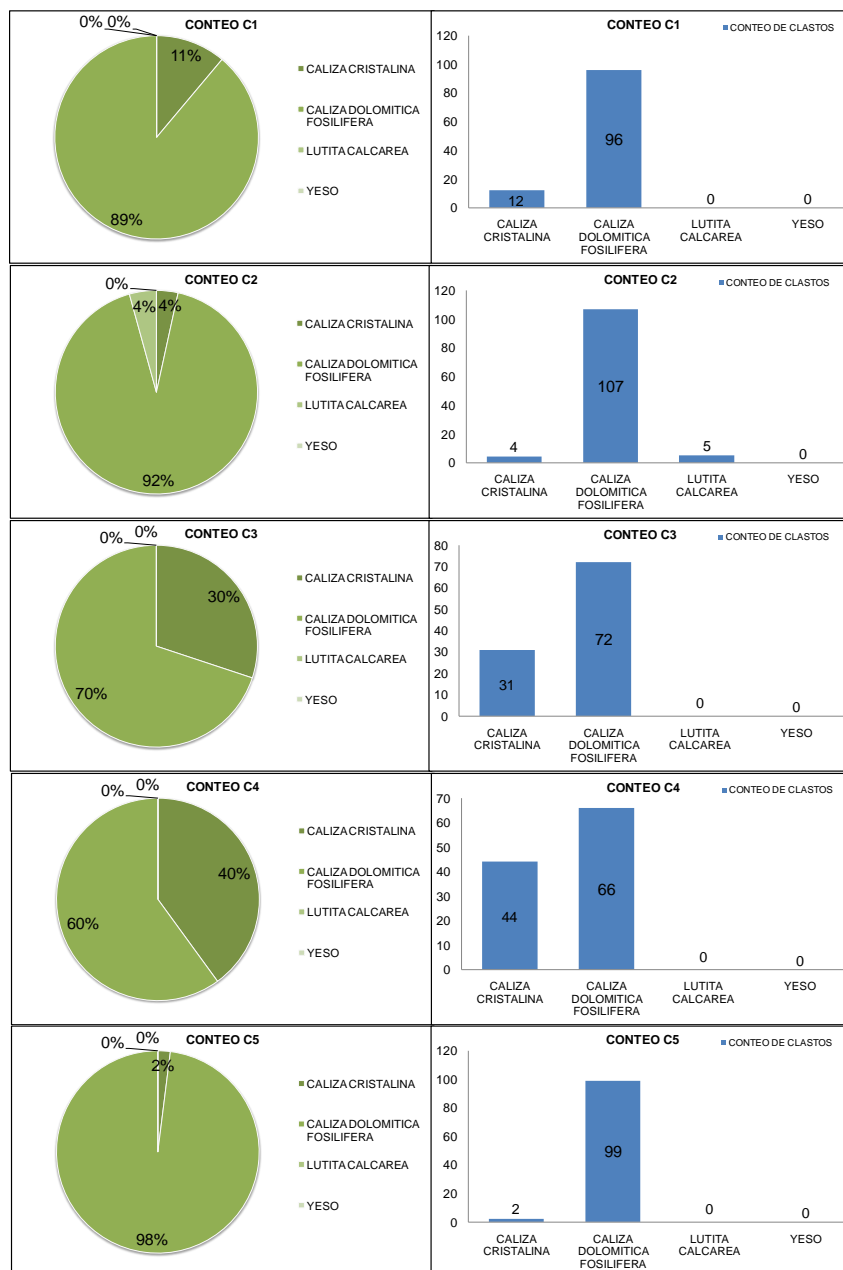
Para el evento B se realizaron 2 conteos sistemáticos (gráfica 6), ambos indican resultados similares, la caliza dolomítica es el porcentaje considerablemente dominante y un incremento en el contenido de caliza cristalina hacia el oeste del depósito, se destaca la ausencia de lutitas calcáreas y yeso.

## GRÁFICA 6 CONTEO SISTEMÁTICO PARA EVENTO B



Fuente: Investigación de campo, enero de 2017.

## GRAFICA 7 CONTEO SISTEMÁTICO PARA EVENTO C



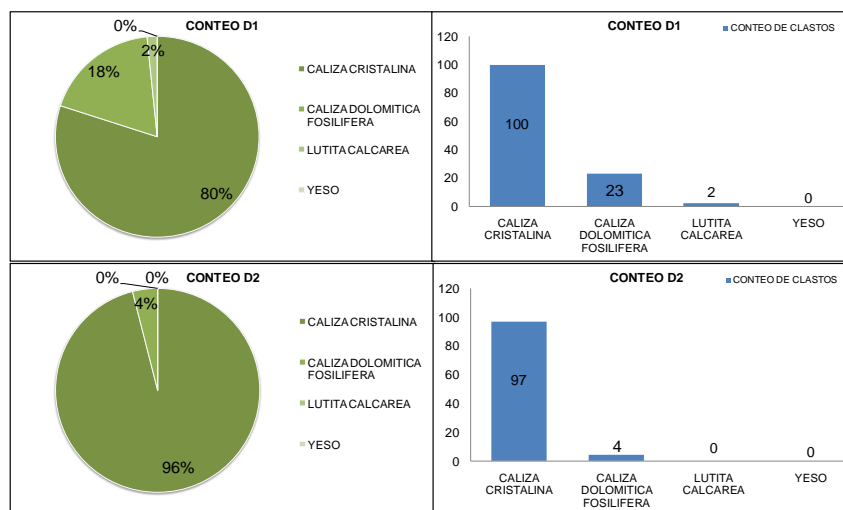
**Fuente:** Investigación de campo, enero de 2017.

Para el evento C se realizaron 5 conteos sistemáticos (gráfica 7), las similitudes en cada uno de ellos muestra el dominio litológico de caliza dolomítica. En

los conteos realizados al oeste del depósito (C3 y C4) se aprecia un incremento considerable de caliza cristalina.

Para el evento D se realizaron 2 conteos sistemáticos (gráfica 8), en ambos la litología predominante es caliza cristalina, con contenido menor de caliza dolomítica, lo que reafirma la tendencia del depósito el cual recrea la distribución estratigráfica de la corona.

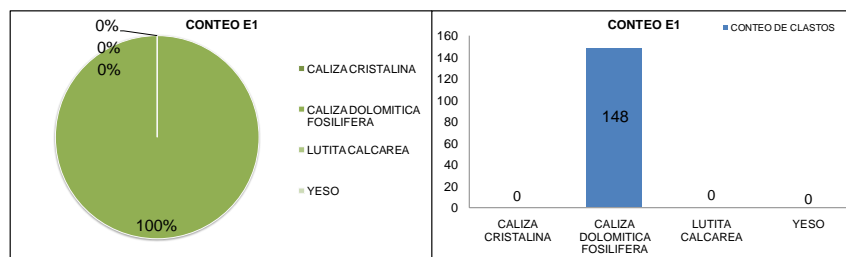
**GRÁFICA 8**  
**CONTEO SISTEMÁTICO PARA EVENTO D**



**Fuente:** Investigación de campo, enero de 2017.

Para el evento E se realizó un conteo sistemático (gráfica 9), este depósito está formado por partículas de tamaño desde guijarros a megabloques todos de caliza dolomítica, no posee matriz ni contenido de partículas finas, este evento fue excluido de todo análisis ya que se originó por acción antrópica por medio de una voladura controlada, pero se establece con este conteo la unidad en la que se llevó a cabo.

## GRÁFICA 9 CONTEO SISTEMÁTICO PARA EVENTO E



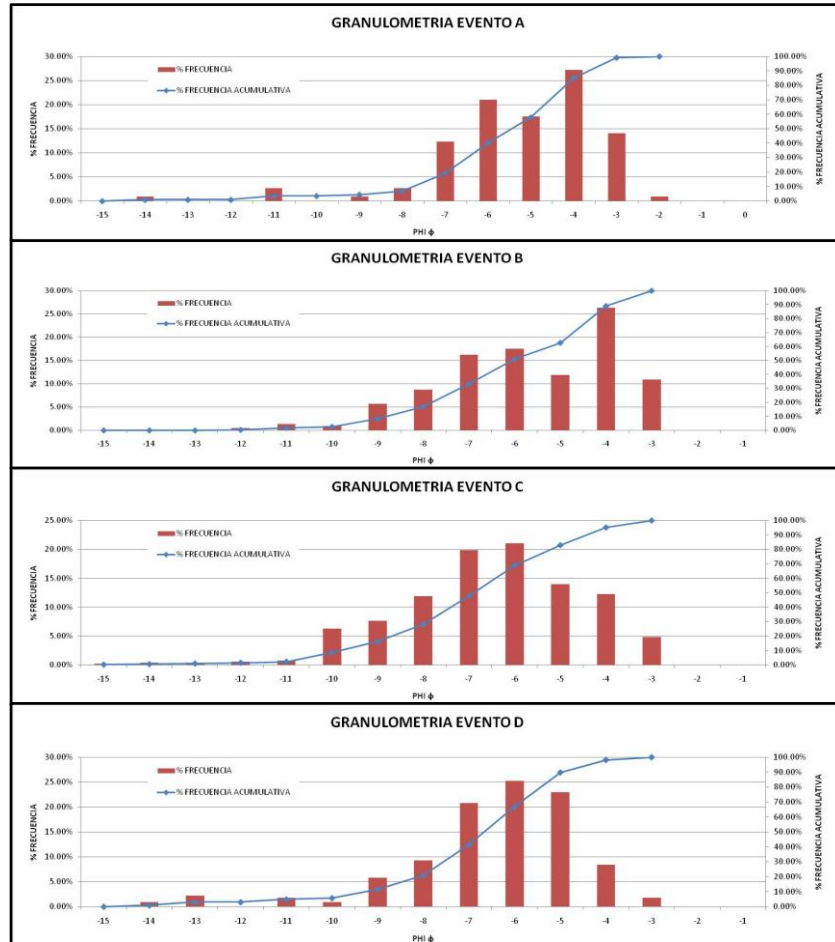
**Fuente:** Investigación de campo, enero de 2017.

### b. Caracterización granulométrica

Para el análisis granulométrico se utilizó el analizador de tamaño de partículas *US SAH-97<sup>TM</sup>*, el cual permite la medición de partículas mayores a 2 mm (-1 $\phi$ ) y menor a 256 mm (-8 $\phi$ ), para bloques de mayor tamaño se medio con cinta métrica el eje b de estos (-9 $\phi$  - 15 $\phi$ ). El muestreo granulométrico fue realizado en los mismos sitios y con la misma metodología empleada para el conteo sistemático de clastos.

Los histogramas presentados en la gráfica 10 muestran la distribución granulométrica de los depósitos del deslizamiento Los Chorros, el análisis individual de cada evento (A, B, C y D) muestra que los lóbulos distales presentan un comportamiento bimodal con modas en -6 $\phi$  y -4 $\phi$ , mientras los lóbulos proximales presentan un comportamiento unimodal en -6 $\phi$ .

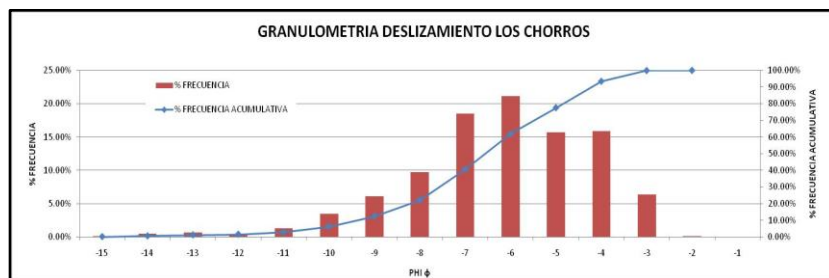
## GRÁFICA 10 GRANULOMETRÍA POR EVENTO DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS



Fuente: Investigación de campo, enero de 2017.

Al unificar todos los eventos como un sólo depósito, la distribución granulométrica del deslizamiento presenta un comportamiento bimodal en  $-6\phi$  y  $-4\phi$  (gráfica 11).

## GRAFICA 11 GRANULOMETRÍA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS



**Fuente:** Investigación de campo, enero de 2017.

Con la hoja de cálculo *Gradistat 4.0*<sup>20</sup>, se calcularon las medidas de tendencia central y las medidas de dispersión (tabla 15), los resultados muestran una distribución bimodal, confirman así el análisis hecho de los histogramas de las gráficas 10 y 11.

### TABLA 15 MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN

<b>TENDENCIA CENTRAL</b>		
MEDIDA	$\phi$	DESCRIPCIÓN
Moda 1 (Mo)	-6,50	
Moda 2 (Mo)	-4,50	
Mediana (Md)	-6,56	
Media (Mz)	-6,60	
<b>DISPERSIÓN</b>		
Cúrtosis (kg)	1,01	MESOCÚRTICA
Índice de clasificación ( $\sigma_1$ )	2,01	MUY MAL CLASIFICADO
Índice de asimetría (SK1)	-0,09	SIMÉTRICO

**Fuente:** Investigación de campo, enero de 2017.

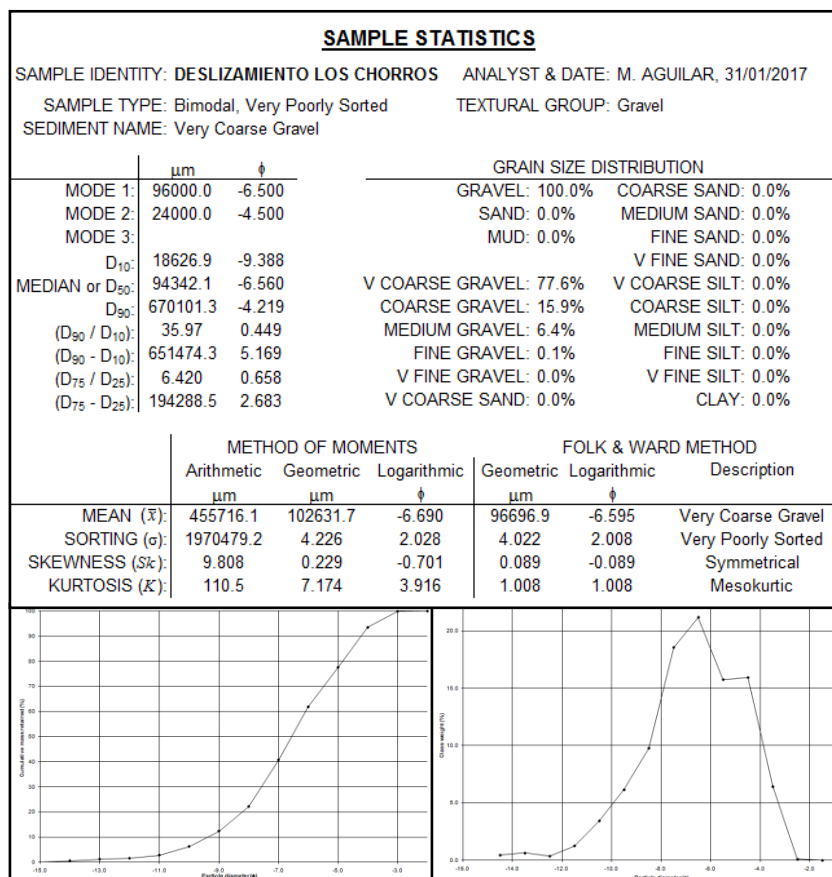
<sup>20</sup> Simon Blott. *Gradistat Version 4.0. Surface Processes and modern Environments Research Group*. University of London, England: Department of Geology, 2000.



Por no ser una distribución unimodal, las medidas de dispersión, asimetría y curtosis son poco fiables, aunque al tomar en cuenta las observaciones en campo y los resultados se consideran cercanos a la realidad, se establece así que el depósito es bimodal, simétrico, mesocúrtico y muy mal clasificado.

En la figura 21 se observan los resultados completos e intactos generados en *Gradistats 4.0* consultados y confrontados con los resultados de la tabla 14 e histogramas de las gráficas 10 y 11.

**FIGURA 21**  
**RESULTADOS DE GRADISTATS 4.0**



Fuente: Investigación de campo, enero de 2017.

### c. Humedad

En el anfiteatro del deslizamiento Los Chorros se tienen dos corrientes de agua (quebradas este y oeste), cuyos nacimientos están en la zona de falla en el contacto entre calizas dolomíticas y calizas calco-arenosas; se cuantifico el caudal por medio de aforo volumétrico, al llenar un recipiente de volumen conocido (5 gal), el resultado se expone en la tabla 16.

**TABLA 16**  
**RESULTADOS DE AFORO VOLUMÉTRICO**

LUGAR	FECHA	V recipiente (gal)	Tiempo (min)	Q=V/t (gal/min)
Q. OESTE	dic-15	5	0,31	16
Q. OESTE	jun-16	5	0,20	25
Q. ESTE	dic-15	5	0,22	23
Q. ESTE	jun-16	5	0,17	29

**Fuente:** Investigación de campo, enero de 2017.

De la precipitación pluvial anual, la cantidad retenida por la vegetación está entre un rango de 12–21 %; y lo que está disponible para infiltrarse en el suelo presenta un rango entre 79–88 %.<sup>21</sup>

Se tienen registros que la zona de ocurrencia del deslizamiento sufre de altos porcentajes de infiltración por precipitación pluvial.

Al considerar los resultados de aforo volumétrico de agua subterránea, los registros de infiltración y el

---

<sup>21</sup>Nancy Mollinedo. *Estimación de la influencia de la precipitación y la recarga subterránea en el tramo carretero afectado por el deslizamiento de enero 2009, San Cristobal Verapaz*. Guatemala: Geopetrol, 2013, 17.

comportamiento del movimiento en el video, se concluye que el material al momento del deslizamiento se comportó como un flujo con abundante agua haciéndolo fluir como líquido.

**d. Secuencia de repetición**

Según *Varnes (1978)* es el conjunto de movimientos que se desarrollan o repiten en una dirección, para esto propone una terminología, dentro de la cual se define el deslizamiento Los Chorros como una secuencia progresiva alargándose, la cual especifica un tipo de deslizamiento en el cual la zona falla se comporta de forma progresiva al aportar material al volumen desplazado, en este caso un total 4 eventos con una duración de aproximadamente 5 min desde el inicio del primero hasta el término de desprendimiento de material del cuarto evento.

**e. Velocidad del movimiento**

La velocidad del movimiento fue medida por medio del video grabado al momento de ocurrir el deslizamiento, la referencia fue la vegetación proveniente de la corona del deslizamiento y punto de control la carretera nacional RN-7W, con este análisis se determinó un intervalo de velocidades entre los 25 m/s a 32 m/s, por lo que se concluye que las velocidades alcanzadas son congruentes con las de una avalancha de detritos, la cual es considerada como flujo extremadamente rápido, mayor a 5 m/s (tabla 17).

**TABLA 17**  
**VELOCIDADES DE LOS MOVIMIENTOS DE**  
**TIERRA**

Clase	Descripción	Velocidad (mm/s)	Poder destructor
7	Extremadamente rápido	$\geq 5 \times 10^3$	Catástrofe de violencia mayor, edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable
6	Muy rápido	$\geq 5 \times 10^1$	Alguna pérdida de vidas; velocidad demasiado alta para permitir a todas las personas escapar
5	Rápido	$\geq 5 \times 10^{-1}$	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderado	$\geq 5 \times 10^{-3}$	Algunas estructuras temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente
3	Lento	$\geq 5 \times 10^{-5}$	Construcciones remediales pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras insensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente
2	Muy lento	$\geq 5 \times 10^{-7}$	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento
1	Extremadamente lento	$\leq 5 \times 10^{-7}$	Imperceptibles sin instrumentos; construcción posible pero deben tenerse precauciones

**Fuente:** Modificado de *Varnes 1996* por *J. Suárez Díaz*.

#### f. Estilo

Para un deslizamiento con varios movimientos que conjuntamente interactúan entre sí, *Varnes (1978)* estableció una nomenclatura de actividad de deslizamiento para definir el estilo del mismo.

El deslizamiento Los Chorros ocurrió con estilo múltiple en el cual muestra 4 movimientos repetitivos, ampliando la superficie de falla progresivamente.

#### g. Estado de actividad

El deslizamiento Los Chorros corresponde a un estado reactivado, donde la zona después de mucho tiempo inactiva, cambian las condiciones de equilibrio y reactiva nuevamente el movimiento, se tienen evidencias sobre la pre-existencia de deslizamientos representados por antiguos escarpes de falla por deslizamiento y material retrabajado en la parte baja sobre el valle de quebrada Xol.

La caracterización del movimiento en masa se resume en la tabla 18, resultados que permiten determinar que el movimiento ocurrido en la zona de los Chorros corresponde a un movimiento del tipo avalancha de rocas.

**TABLA 18**  
**RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN DEL**  
**MOVIMIENTO EN MASA**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Material	Roca
Humedad	Mojado
Secuencia de repetición	Progresivo alargándose
Velocidad	Extremadamente rápido
Estilo	Múltiple
Estado de actividad	Reactivado
Tipo	Flujo

**Fuente:** Elaboración propia, enero de 2017.

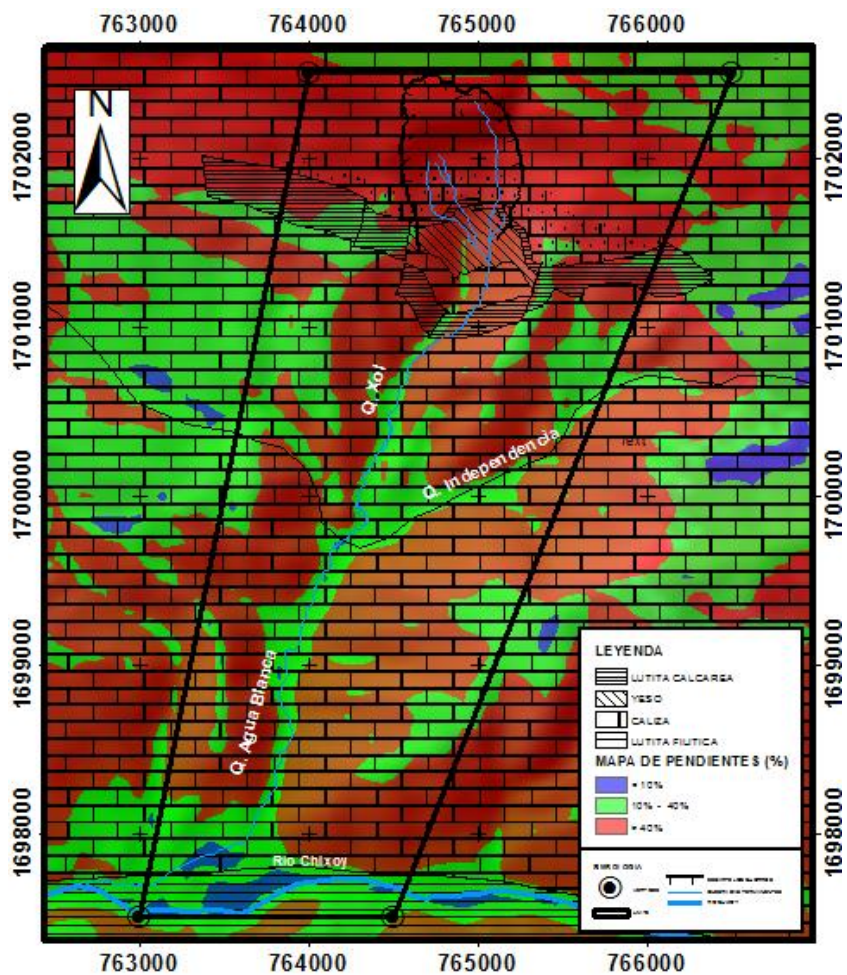
#### **3.7.4. Proceso de falla**

El proceso de falla se refiere al tiempo de activación y ocurrencia de un movimiento de masa, para comprender este proceso y su evolución se describen a continuación los factores condicionantes, que son todas aquellas características presentes en el área y que determinan la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa y los factores desencadenantes los cuales activan y dan inicio al movimiento.

##### **a. Factores condicionantes**

La litología y la topografía son condiciones que pueden favorecer la estabilidad de una ladera, en este caso si se observa la litología presente en el mapa geológico versus el mapa de pendientes superpuestos el uno al otro en el mapa 5 (escala 1:25 000 en anexo 16).

## MAPA 5 MAPA DE RIESGO: LITOLOGÍA VERSUS PENDIENTES



Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2016.

Se determinó que la zona del anfiteatro y la base del deslizamiento presenta un alto y muy alto riesgo de ocurrencia de movimientos de masa respectivamente, expuesto en la relación propuesta por *Peña Monné ET.AL.* de la figura 22.

**FIGURA 22**  
**CLASIFICACIÓN DE RIESGO DE**  
**DESLIZAMIENTO**

		PENDIENTE		
		<10 %	10 % - 40 %	>40 %
<b>RESISTENCIA MECÁNICA</b>	<b>CALIZAS</b> Débil – moderadamente débil	<b>BAJO</b> - <b>NULO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>
	<b>YESOS, ARCILLAS Y MARGAS</b> Débil – muy débil	<b>BAJO</b> - <b>NULO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>
	<b>GRAVAS Y ARENAS</b> (cementadas o no) Muy débil – débil - moderadamente débil	<b>BAJO</b> - <b>NULO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>

Fuente: Modificado de J.L. Peña Monné ET.AL., 1997.

La interacción de pendientes >40 % con rocas de resistencia mecánica débil como los yesos y lutitas calcáreas, sumado al *gouge* de falla existente en las zonas de fallamiento inverso en los contactos litológicos en la base del anfiteatro del deslizamiento, confirman que la pendiente y resistencia mecánica de los materiales es uno de los factores condicionantes para la ocurrencia del fenómeno.

El aporte de agua subterránea (tabla 14) por las zonas de *gouge* entre el contacto litológico de calizas dolomíticas fosilíferas y lutitas calco-arenosas en la parte baja del anfiteatro, condiciona directamente la ocurrencia de movimientos en masa.

Este factor geológico estructural pertenece a la zona de falla regional y sistema activo Chixoy-Polochic, la cual influye directamente en la tectónica del lugar (figura 16), da así origen a múltiples estructuras geológicas como fallas normales, inversas y ligero plegamiento. Algunas de

estas figuran como estructuras de confinamiento del deslizamiento.

Como el sistema de falla Chixoy-Polochic es un sistema activo, se considera que la neo-tectónica del lugar representa otro factor condicionante para la ocurrencia de este tipo de eventos.

**b. Factores detonantes**

El incremento pluvial del año 2008, provocó la alteración de las condiciones de estabilidad en la zona cercana a Los Chorros, que convierte en factores desencadenantes los siguientes:

Saturación de agua en el macizo rocoso que incremento las presiones de poro, expansión de arcillas, erosión subterránea con lavado de fracturas y fallas fuertemente argilizadas, sumado al alto índice de infiltración para esta zona lo que generó que los flujos de agua subterránea alcancen límites críticos.

Erosión superficial por el incremento de esorrentía a lo largo de las laderas.

Los procesos antrópicos generados por los trabajos de ampliación y mantenimiento de la carretera nacional RN-7W contribuyeron a la inestabilidad de la ladera, provocado por la generación de vibraciones en superficie por el uso de maquinaria pesada y explosivos; también el cambio en la morfología creó nuevos cortes de talud al pie de la ladera.



### 3.5. Propuesta de modelo dinámico

Los Chorros corresponde a una zona de deslizamiento reactivada, depósitos re-trabajados previos al deslizamiento en la parte de baja del valle y geoformas de antiguos escarpes y anfiteatros confirman esto, movimiento de secuencia múltiple de 4 eventos, identificados con las letras A, B, C y D en orden cronológico del más antiguo al más reciente, con una duración de 5 min aproximadamente desde el primer evento hasta el último, formó en el valle una estructura de deslizamiento de 3 zonas: la que incluye el anfiteatro, escarpe de falla y depósitos de corto viaje y se nombro proximal; la media tiene el mayor volumen de material depositado con la formación de lóbulos y la distal que está compuesta principalmente por flujos de lodos y es característico encontrar terrazas y el abanico sobre el cauce del río Chixoy.

Un quinto evento nombrado E a pesar de estar considerado dentro del conteo sistemático de clastos por su evidencia en el depósito, ya que este material se desplazó por encima del depósito original, fue obviado en esta descripción por ser de origen antrópico y ajeno al comportamiento natural del deslizamiento Los Chorros.

El deslizamiento de tipo avalancha compuesto de roca y lodo con comportamiento de flujo viscoso, con velocidades de 25 m/s a 32 m/s, el volumen total desplazado calculado es de  $16,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , de configuración confinado de baja y media disipación de energía, conducido por un control topográfico y confinado por el valle de las quebradas Xol y Agua Blanca, la movilidad y dirección del material desplazado se comportó de forma oscilante dentro de las paredes del valle hasta alcanzar su recorrido máximo de 5,4 km desde el anfiteatro hasta el río Chixoy.

Las características de la zona proximal del deslizamiento se caracteriza por poca matriz y bloques (1 m a 30 m de diámetro), la zona

media se caracteriza por la formación de lóbulos de bloques de distintos tamaños y abundante de matriz, el material en movimiento al llegar al límite de la zona media y distal, sitio donde el valle se angosta y hace con ello que el depósito se restrinja en este punto, donde se depositan los lóbulos de la zona media y se convierte el material de avalancha en un flujo de lodos y escombros de menor tamaño que se extiende hasta el río Chixoy, donde originó un abanico de material que bloquea el río y dio lugar a la formación de una represa natural.

Las características litológicas del depósito muestran para el evento A un alto contenido de caliza dolomítica fosilífera y yeso en su parte más distal; en los eventos B y C sobresale el contenido de caliza dolomítica fosilífera proveniente de la parte intermedia de la corona; y el evento D compuesto casi en su totalidad de caliza cristalina proveniente de la parte superior de la corona. Esta disposición se interpreta como un comportamiento típico de avalancha, donde se conserva la estratigrafía de la corona sin importar el desplazamiento caótico del movimiento a lo largo de su recorrido.

La distribución granulométrica de los depósitos analizados individualmente muestran una diferencia entre los lóbulos distales de los proximales, los distales presentan un comportamiento bimodal con modas en  $-6\phi$  y  $-4\phi$ , mientras los lóbulos proximales presentan un comportamiento unimodal en  $-6\phi$ , mas sin embargo al unificar toda la información y analizarla en conjunto presenta un comportamiento bimodal con modas en  $-6\phi$  y  $-4\phi$ , con una mediana de  $-6,56\phi$  y una media de  $-6,6\phi$ . Con una dispersión característica de un deposito simétrico muy mal clasificado y una distribución normal (mesocúrtica).

Los 4 eventos ocurridos consecutivamente muestran mayor disipación de energía y generaron menor recorrido, lo que indica que al

evento A con mayor energía, área y recorrido que el siguiente en la secuencia y así sucesivamente. Para evidenciar esto, se tienen los parámetros de movilidad que indican una gran diferencia entre el evento A y los eventos B, C y D, que a su vez presentaron diferencias menores en cuanto a recorrido, área y volumen igualmente decrecientes en la secuencia de acontecimientos.

**TABLA 19**  
**CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO**

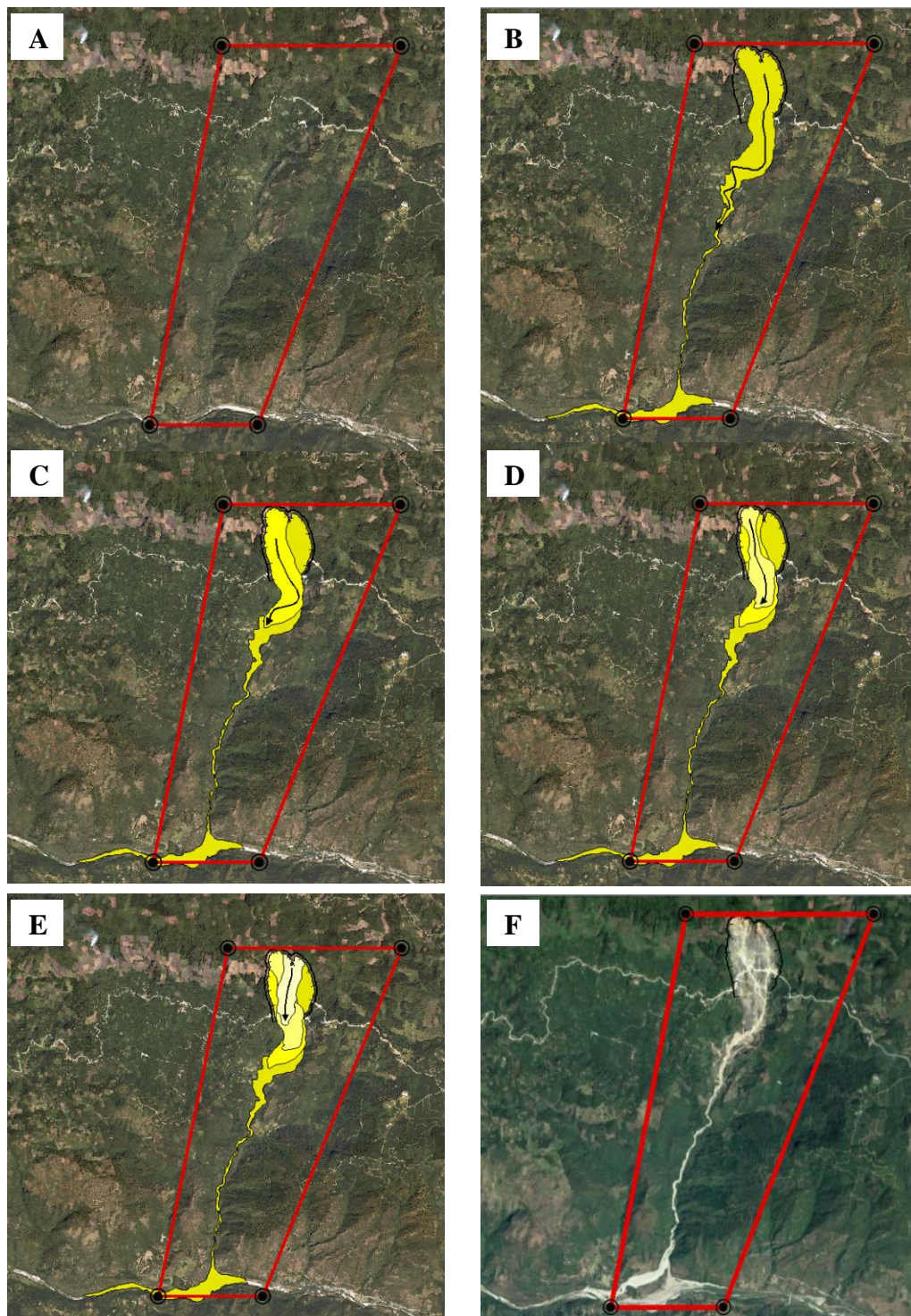
<b>Evento</b>	<b>Características</b>	<b>L (km)</b>	<b>H (km)</b>	<b>Le (km)</b>	<b>Le/L</b>	<b>H/L</b>	<b>L/H</b>	<b>Vd (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>
<b>A</b>	Facie de bloques y abundante matriz	5,4	1,33	3,26	0,60	0,25	4,1	5,0
<b>B</b>	Facie de bloques y abundante matriz	1,9	0,95	0,33	0,18	0,51	2,0	4,6
<b>C</b>	Facie de bloques y abundante matriz	1,4	0,85	0,08	0,05	0,59	1,7	3,7
<b>D</b>	Facie de mega bloques y bloques con escasa matriz	1,0	0,69	-0,13	-0,13	0,70	1,4	3,0

**Fuente:** Elaboración propia, enero de 2017.

El coeficiente de fricción (H/L) definido por *UI (1986)* para los eventos en Los Chorros, está entre los rangos de 0,25 y 0,70 respectivamente en el orden de ocurrencia, indican una menor movilidad en la secuencia temporal de éstos. Mientras tanto, su inverso, el índice de movilidad (L/H) está entre los rangos 4,1 y 1,4, lo que indica que la distancia máxima alcanzada por la avalancha es 4,1 veces mayor que la altura del colapso.

En la figura 23 se representa con imágenes la secuencia de los eventos ocurridos antes, durante y después del deslizamiento Los Chorros, A) situación pre-deslizamiento; B) ocurrencia de evento A; C) ocurrencia de evento B; D) ocurrencia de evento C; E) ocurrencia de evento D y F) situación post-evento.

**FIGURA 23**  
**SECUENCIA DE OCURRENCIA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS**



**Fuente:** Elaboración propia, febrero de 2017.



## CONCLUSIONES

### GENERAL

El deslizamiento Los Chorros posee una dinámica típica de una avalancha, con una estructura conformada por tres zonas; distal, media y proximal, delimitadas por los parámetros y características geométricas y morfométricas del deslizamiento, permiten establecer una configuración por control geomórfico correspondiente a una avalancha de alta movilidad con velocidades entre 25 m/s a 32 m/s, determinado por un control de baja disipación de energía, con un volumen total desplazado de  $16,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  en cuatro eventos consecutivos.

La caracterización del material desplazado es el resultado de un comportamiento representativo de los depósitos de avalancha, el cual confirma que sin importar lo caótico del movimiento con una disposición granulométrica bimodal, simétrico, muy mal clasificado, este manifiesta la misma disposición estratigráfica de la corona; lo conforma yeso en la base, lutitas y calcóarenosas en el medio y calizas dolomíticas fosilíferas y cristalinas en la zona proximal.

Los factores condicionantes para que este evento ocurriera son: las litologías con baja resistencia mecánica en pie del anfiteatro asociado a pendientes  $>40 \%$ , el aporte de agua y pertenecer a un sistema geológico estructural complejo como la zona de falla Chixoy-Polochic. Los factores desencadenantes son el incremento pluvial en los meses previos, los procesos antrópicos realizados por los trabajos de ampliación y trabajos mantenimiento de la carretera RN-7W.

## ESPECÍFICAS

- a. El mapeo geológico permitió identificar litológicas de resistencia mecánica muy baja en el pie del anfiteatro, dando lugar a la constante inestabilidad en el cerro Los Chorros, además, el análisis estructural confirmó que el deslizamiento es condicionado por factores estructurales, un sistema de fallamiento normal con rumbo NE-SO, las cuales generan un graben dentro del cual se desarrolla el movimiento resultado del deslizamiento Los Chorros, asimismo se tienen estructuras de cabalgamiento con rumbo este-oeste buzando al norte, las cuales dan origen a la formación de un escarpe semi-vertical en la zona de la corona, todo esto generado por la tectónica de la falla Chixoy-Polochic.
  
- b. El levantamiento estratigráfico permitió establecer los límites entre unidades litológicas y sus espesores, la relación cronológica en la geología regional, permitió así establecer que al norte del anfiteatro fuera de la zona afectada por el escarpe de falla, pertenece a la Formación Cámpur, todo el anfiteatro y parte media del deslizamiento pertenecen a la Formación Cobán; en la parte baja en la zona, más al sur, se evidencian calizas de la Formación Chochal e intercalaciones de lutitas pizarrosas y *chert* pertenecientes a la Formación Táctic, estas últimas separadas por la falla Chixoy-Polochic.
  
- c. La determinación del *RMR* básico confirmó la mala condición del macizo rocoso en el pie del anfiteatro con *RMR*~25 para la Unidad de Yeso; *RMR*~38 para la Unidad de Lutitas Calcáreas y *RMR*~40 para la Unidad Calizas y Lutitas calcóarenosas, todas estas clasificadas como macizo rocoso de mala calidad según la metodología de *Bieniawski (1989)*.
  
- d. La geomorfología muestra un relieve típico de paisajes cársticos en la parte alta al norte del deslizamiento, una pendiente pronunciada en

zona de deslizamiento >40 %, con claras evidencias de antiguos deslizamientos, y estructuralmente controlada por geoformas en dirección este-oeste volcadas hacia el sur. Posterior al deslizamiento Los Chorros la geomorfología del lugar cambió drásticamente, dando lugar a cambios de relieve muy importantes, formación de nuevas quebradas y nuevos deslizamientos de menores proporciones dentro de su propio depósito.

- e. En época lluviosa el anfiteatro del deslizamiento se comporta de forma inestable y reactiva el material coluvial en los límites del anfiteatro y provoca el bloqueo de la ruta RN-7W.
- f. El conteo sistemático de clastos muestra un comportamiento y una disposición litológica dentro de los lóbulos que corresponde a la estructura litológica presente en la corona, tiene yeso en la base, lutitas calcáreas y carbonatos calco-arenosos en el medio y caliza dolomítica fosilífera y cristalina en la parte superior, determina con ello el comportamiento típico de un depósito de avalancha.
- g. El análisis estadístico de conteo de clastos muestra un comportamiento granulométrico bimodal, simétrico, mesocúrtico, muy mal clasificado, típico de un depósito de avalancha.
- h. Fueron cuatro los eventos ocurridos durante el deslizamiento Los Chorros, siendo en orden cronológico del primero al cuarto de  $5,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,  $4,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,  $3,7 \times 10^6 \text{ m}^3$  y  $3,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ , para un total de material desplazado de  $16,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ .
- i. El deslizamiento Los Chorros se considera de estilo múltiple de secuencia progresiva alargándose, en la cual aporta en 4 ocasiones material al volumen desplazado y con estado reactivado.



- j. Los parámetros y características morfométricas determinan un deslizamiento múltiple, el primero de ellos es un evento de alta movilidad, y baja disipación de energía; y los tres restantes casi ovalados, con forma de lengua, libre de restricciones horizontales y de moderada disipación de energía; la movilidad directamente proporcional con el incremento de altura y la disipación de energía directamente relacionada al confinamiento del material.
- k. Por su velocidad se determinó velocidades en un intervalo entre 25 m/s a 32 m/s, fueron velocidades muy altas que corresponden a un deslizamiento del tipo avalancha y con un poder destructivo muy alto.
- l. Los factores condicionantes, aquellos que en conjunto condicionan el origen de la ocurrencia del deslizamiento Los Chorros son: litologías como yeso y lutita calcárea con baja resistencia mecánica en pie del anfiteatro asociadas a pendientes >40 %; aporte de agua en el pie del anfiteatro con caudales de 16 gal/min a 29 gal/min, drenan a través de extensas zonas de *gouge*; y el factor geológico estructural de la zona de ocurrencia, relacionado directamente con el sistema activo de falla Chixoy-Polochic.
- m. Los factores desencadenantes del deslizamiento Los Chorros son: la altas tasas de precipitación pluvial en los meses previos al deslizamiento provocan el incremento en la presión de poro, expansión de arcillas, erosión subterránea por lavado de fracturas y fallas; todo ello sumado a una alta tasa de infiltración, erosión superficial debida al incremento de escorrentía superficial, además, los procesos antrópicos realizados por los trabajos de ampliación y mantenimiento de la carretera nacional RN-7W generaron vibraciones por explosivos y uso maquinaria pesada.

- n. A razón del deslizamiento Los Chorros la flora y fauna del lugar sufrieron cambios drásticos, dio origen a una zona desértica en la zona del depósito, la cual se recupera lentamente con el paso del tiempo, recobrando su cubierta vegetal y permite migrar especies animales al lugar.
  
- o. La zona del anfiteatro y la zona media del deslizamiento especialmente en el área de formación de lóbulos de gran tamaño, se considera zona roja propensa a constantes deslizamientos.



## RECOMENDACIONES

- a. El deslizamiento Los Chorros se considera del tipo reactivo, lo cual indica que los movimientos de tierra se activan nuevamente cuando las condiciones de equilibrio cambian, por lo que la ruta nacional RN-7W se considera de alto riesgo, por tanto, se recomienda re-diseñar dicha ruta hacia una zona fuera de la influencia de los factores que afectan la zona de deslizamiento, preferentemente al norte de la corona.
- b. Bloquear completamente la ruta nacional RN-7W en época lluviosa para evitar exponer la vida de quienes utilicen esa vía; una alternativa viable durante esta época es el uso de la carretera temporal diseñada al sur de dicha ruta, la cual se localiza dentro de la finca Independencia.
- c. Evitar el ingreso de personal a la zona media del deslizamiento los Chorros, justamente donde el depósito dio origen a los lóbulos de mayor tamaño, ya que la formación de nuevos valles originados por las quebradas ocasionan constantes deslizamientos de menor tamaño que pueden causar la muerte de quien ingrese al lugar.
- d. Con base en las características del deslizamiento, el volumen desplazado y su comportamiento no es recomendable realizar algún tipo de trabajo de infraestructura en el área, tal como reconstrucción vial, puentes, túneles, incluso evitar el costo de mantenimiento y obras de mitigación; y redirigir estos recursos hacia una solución concreta y definitiva.

- e. Realizar el levantamiento topográfico del área del deslizamiento para establecer con mayor precisión el volumen desplazado durante el evento y compararlo con el calculado teóricamente en esta investigación.
- f. Establecer como zonas de alerta y propensas a deslizamientos de grandes proporciones, aquellas zonas que en el pie de ladera y talud tengan formaciones de baja resistencia mecánica que favorezcan este tipo de eventos.
- g. Realizar un estudio más detallado sobre la estratigrafía del lugar, con el objeto de obtener mejores resultados sobre la estratigrafía regional de las Formaciones Táctic, Chochal, Cobán y Cámpur.
- h. Establecer una solución concreta a la problemática de transporte y comunicación vial causada por el deslizamiento Los Chorros, para beneficio de la población que hace uso de esta ruta y que se arriesga al transitar por esta zona.

## BIBLIOGRAFÍA

- Authemayou, Christine. Et. Al. "Quaternary seismo-tectonic activity of the Polochic Fault, Guatemala". *Solid Earth, Journal of Geophysical Research*. 117, B07. (July 2012): 1 – 21.
- , "The Caribbean-NorthAmerica-Cocos Triple Junction and the dynamics of the Polochic-Motagua fault systems: Pull up and zipper models". *Tectonics*. 30, 3. (June 2011).
- Barillas, Edy Manolo y Jeff Coe. *Historia y ocurrencia de los deslizamientos generados por lluvia en Guatemala*. Guatemala: Fundación Fullbright, 2009.
- Bieniawski, Z.T. *Engineering rock mass classifications*. United States of America: Editorial John Wiley & Sons, 1989.
- Blott, Simon. *Gradistat Version 4.0. Surface Processes and modern Environments Research Group*. University of London. England: Department of Geology, 2000.
- Blount, Donald Neal. *Geology of the Chiantla Quadrangle, Guatemala*. Louisiana State University. United States of America: Historical Dissertations and Theses, 1967.
- , y C.H. "Moore Depositional and Non-Depositional Carbonate Breccias. Chiantla Quadrangle. Guatemala". *Bulletin Geological Society of America*. 80, 3. (March 1969): 429 - 442.
- Bonis, S.B. *Geologic reconnaissance of the Alta Verapaz fold belt, Guatemala: unpublished*. Louisiana State University. United States of America: Historical Dissertations and Theses, 1967.
- Buitrón, Blanca Estela. "Invertebrados Crinoidea y Bibalvia del Pensilvánico de Chiapas". *Revista mexicana de ciencias geológicas*. 1, 2. (Diciembre 1977): 144 - 150.
- Burga, Jorge Dávila. *Diccionario Geológico*. Peru: Arth Grouting, 2011.

- Burkart, Burke. *Offset across the Polochic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico*. University of Texas. Arlington, Texas, United States of America: Department of Geology, 1978.
- Corrales Zarauza, Inmaculada. Et. Al. *Estratigrafía*. Madrid, España: Editorial Rueda, 1977.
- Deere, Don U. *Rock Quality Designation (RQD) after Twenty years*. Gainesville, Florida, United States of America: Army Corps Engineers, 1989.
- , and D.W. Deere. "The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice". *Rock Classification System for Engineering Purposes. American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, (May 1988): 91 – 101.
- , Et. Al. *Geologic Considerations, Rock Mechanics in Engineering Practice*. New York, United States of America: John Wiley & Sons, 1968.
- Dengo, Gabriel. *Mid-America-tectonic setting for the Pacific margin from southern México to north-western Colombia*. Guatemala, Guatemala: Centro de Estudios Geológicos de América Central, 1983.
- Dirección General de Caminos. *Informe sobre deslizamiento de Los Chorros, San Cristóbal Verapaz*. Guatemala: División de Mantenimiento por Administración, 2009.
- Donnelly, T.W. Et. Al. *The Geology of North America, Northern Central America; The Maya and Chortis Blocks*. United States of America: Geological Society of America, 1990.
- Ferrer Gijon, Mercedes. *Riesgos Geológicos*. Madrid, España: Instituto geológico y minero de España, Geología Ambiental, 1987.
- Folk, Robert L. "Spectral subdivision of limestone types, Classification of carbonate rocks-A Symposium", *American Association of Petroleum Geologists*. 1,1. (November 1962): 62 – 84.
- Hsu, K.J. "Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls". *Geological Society of America Bulletin*. 86, 1. (1975): 129 - 140.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED-. *Informe Técnico preliminar Evento Km 205 CONRED*. Guatemala: CONRED., 2009.
- Gonzalez de Vallejo, Luis. Et. Al. *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Prentice Hall, 2002.

- Gutiérrez Ortega, Fernando, Et. Al. *The Maya-Chortis Boundary: A Tectonostratigraphic Approach*. México, D.F.: International Geology Review, 2007.
- ISRM. *Rock characterization. Testing and monitoring. ISRM suggested methods*. Brown, E.T. United States of America: Commission on testing and monitoring. International Society for Rock Mechanics, Pergamon Press, 1981.
- Lovell, William George. *Conquest and Survival in Colonial Guatemala: A Historical Geography of the Cuchumatán Highlands*. McGill-Queen's University Press. Montreal Kingston, Canadá: McGill-Queen's University Press, 2005.
- Mollinedo, Nancy. *Estimación de la influencia de la precipitación y la recarga subterránea en el tramo carretero afectado por el deslizamiento de enero 2009, San Cristóbal Verapaz*. Guatemala: Geopetrol, 2013.
- Nicoletti, Pier Giorgio and Marino Sorriso-Valvo. "Geomorphic controls of the shape and mobility of rock avalanches". *Geological Society of America Bulletin*. 103, 10. (October 1991): 1365 – 1373.
- Peña Monné, J.L., Et. Al. *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*. Madrid, España: Geofoma Ediciones, 1997.
- Priest, S.D. y J.A. Hudson. "Discontinuity spacings in rock". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. 13, 5. (Mayo 1976): 135 - 148.
- Rosencrantz, E. Et. Al. "Age and spreading history of the Cayman Trough as determined from depth, heat flow, and magnetic anomalies". *Solid Earth, Journal of Geophysical Research*. 93, B3. (May 1988): 2141 – 2157.
- Sarocchi, Damiano. Et. Al. "Construcción de Perfiles Granulométricos de Depósitos Piroclásticos por métodos ópticos". *Revista mexicana de Ciencias Geológicas*. 22, 3. (Junio 2005): 371 – 382.
- Solares, Sergio Estuardo. *Ruta Nacional 7W: Hacia la búsqueda de una solución definitiva*. Ejercicio Profesional Supervisado. Geología. Centro Universitario del Norte- Universidad San Carlos de Guatemala, Cobán, Alta Verapaz. Carrera de Geología, 2012.
- Suárez Díaz, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Instituto de investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, 1998.



Ui, Tadahide Et. Al. "Characterization of debris avalanche deposits in Japan". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 29, 1-4. (September 1986): 231 - 243.

Varnes D.J. *Slope movement types and processes*. Washinton, D.C. United States of America: R.L. Schuster and R.J. Krizek, 1978.

Walper, J.L. "Geology of Cobán-Purulhá area, Alta Verapaz, Guatemala". *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist*. 44. (August 1960): 1273 - 1315.



V.B.  
*[Handwritten signature]*

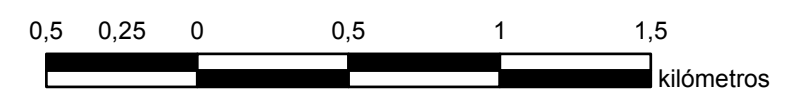
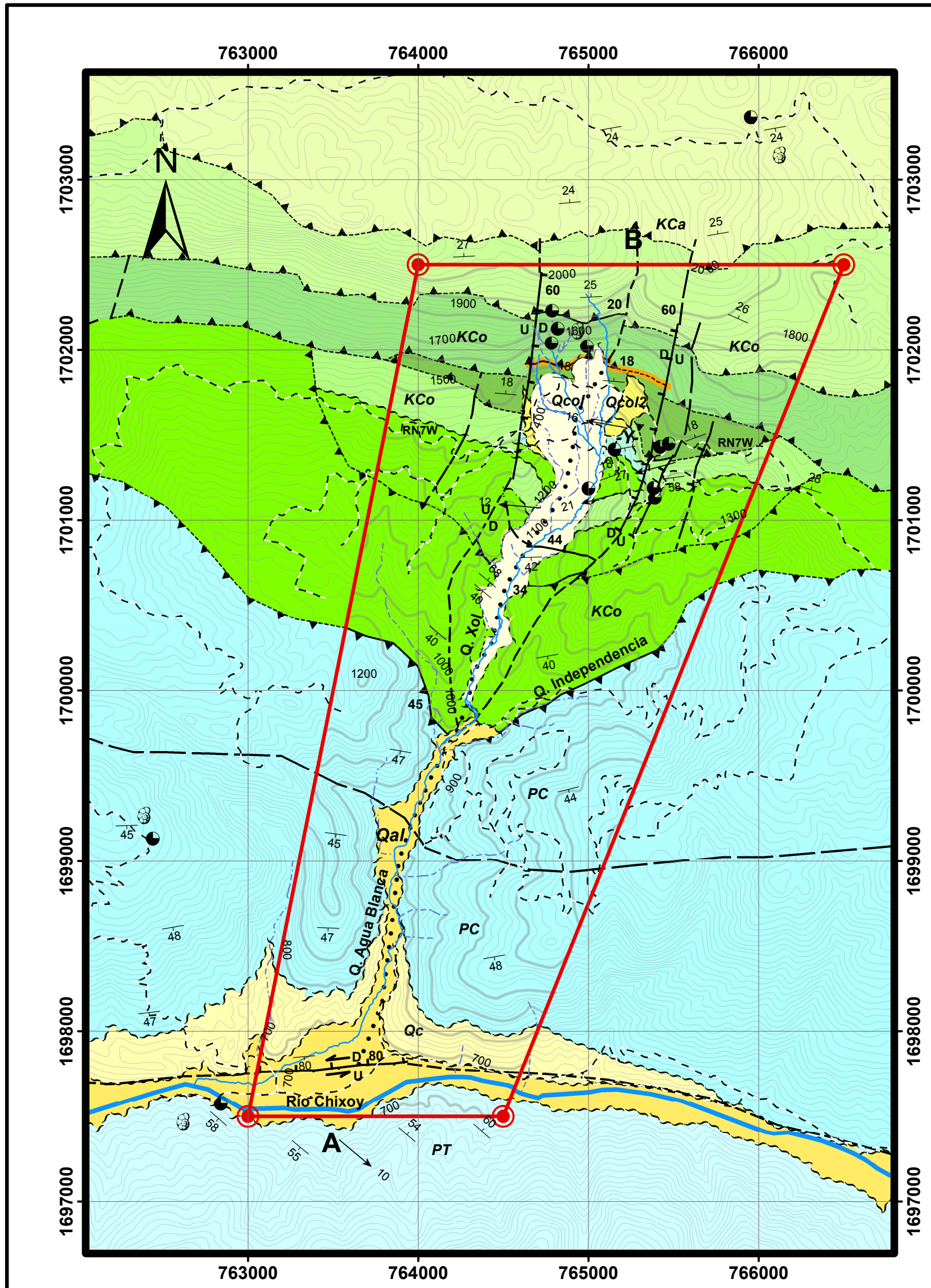
---

Adán García Veliz  
Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa  
Bibliotecario

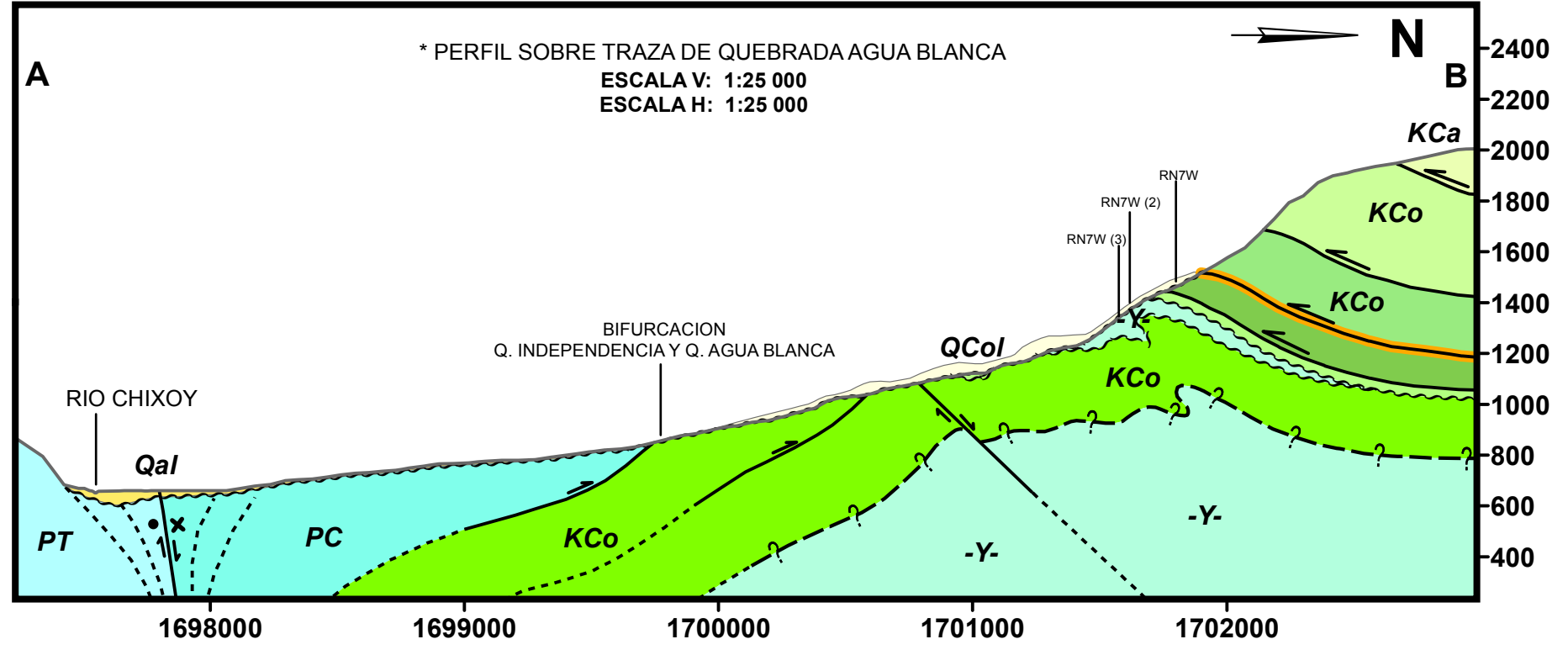


**ANEXOS**





1:25 000



### LEYENDA

#### LITOLOGÍA

- COLUVIÓN (Qcol)
- ALUVIONES (Qal)
- COLUVIÓN 2 (Qcol2)
- CENIZA VOLCÁNICA (Qc)
- CALIZA ARRECIFAL (KCa)
- CALIZA CRISTALINA (KCo)
- CALIZA DOLOMÍTICA FOSILIFERA (KCo)
- CALIZAS Y LUTITAS CALCOARENOSAS (KCo)
- LUTITA CALCAREA (KCo)
- YESO (KCo)
- CALIZA MICROCLÁSTICA (KCo)
- CALIZA (Pc)
- LUTITA PIZARROSA (PT)

### SIMBOLOGÍA

#### MAPA

- VÉRTICES
- LÍMITE
- EJE DE PLIEGUE
- ESTRATIFICACIÓN
- EVIDENCIA FÓSIL
- MUESTRA
- RUTAS
- QUEBRADAS EFÍMERAS
- QUEBRADAS PERMANENTES
- RÍO CHIXOY
- LINEAMIENTO
- FALLA NORMAL OBSERVADA
- FALLA NORMAL INFERIDA
- FALLA CUBIERTA
- CONTACTO DISCORDANTE
- CURVA DE NIVEL
- CABALGAMIENTO
- CABALGAMIENTO INFERIDO
- GOUGE DE FALLA

#### PERFIL

- SUPERFICIE
- CONTACTO DISCORDANTE
- CONTACTO FALLADO
- CONTACTO INCIERTO
- ESTRUCTURAS INTERPRETADAS
- GOUGE DE FALLA

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
	CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE	
<b>DINÁMICA DE DESLIZAMIENTO LOS CHORROS:</b> Determinación de las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz		
Contiene: <b>MAPA Y PERFIL GEOLÓGICO</b>		
Trabajo realizado por: <b>MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG</b>		
Escala 1: 25 000	Revisado por: <b>SERGIO MORÁN</b>	Referencia Espacial WGS 84 ZONA 15N
		<b>ANEXO 1</b>



# ANEXO 3. DETERMINACIÓN DE RMR EN LUTITA PIZARROSA

## DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR

CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR

PONDERACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

DATOS GENERALES		GEOLOGIA		ESTRUCTURA	
LUGAR: Orilla sur del río Chixoy		LUTITA PIZARROSA (PT)		LITITAT CHERT	
COORDENADAS N 1697625		E 762862		Z 645 msnm	
DIRECCIÓN DEL FLORAMIENTO O TALUD		OBSERVACIONES		LITOTIA	
N 190				LUTITA CHERT	
CLASE DE MACIZO ROCOSO		100 - 81		80 - 61	
RMR		I - MUY BUENA		II - BUENA	
DESCRIPCIÓN				III - REGULAR	
				IV - MALA	
				V - MUY MALA	
				< 20	

ÍNDICE DE INTemperización DESCRIPCIÓN	
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	Decoloración indica intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo la roca sana decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTemperizada	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.
V DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.


RANGO DE VALORES	
80-250 (2)	50-100 (7)
75-90 (17)	50-75 (13)
0.6-2 (15)	0.2-0.6 (10)
1-3 m long. (4)	3-10 m (2)
Cerrada (6)	0.1-1.0 mm (4)
Muy rugosa (6)	Lig rugosa (3)
Limpia (6)	Dura-5 mm (4)
Sana (6)	Lig. Intemp. (5)
Seco (16)	Humedo (10)
	Mojado (7)
	Gaseo (4)
	Flujo (0)
	RMR Básico
	<b>30</b>

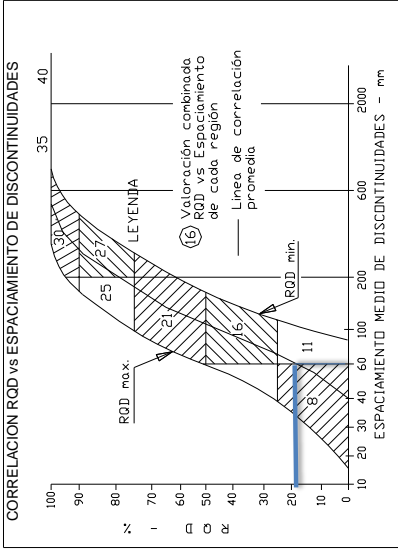
GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS	UCS (Mpa)
R1	Detachable con golpes firmes con la punta de martillo de golpeo se desconcha con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe escurti la de la muestra con el martillo	> 250

**FOTOGRAFIA**



**CORRELACION ROD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES**



# ANEXO 4. DETERMINACIÓN DE RMR EN CALIZA PC

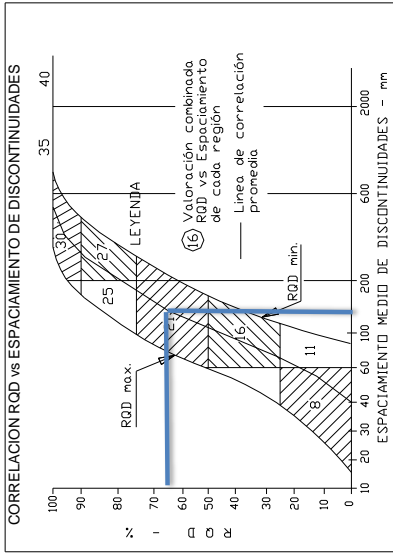
DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR			
DATOS GENERALES		GEOLOGÍA	
LUGAR: Camino rural que conduce a aldea Agua Blanca	CALIZA (PC)	LITOLOGÍA	ESTRUCTURA
COORDENADAS N 1698610 E 762503 Z 1044 msnm	OBSERVACIONES	CALIZA	ESTRATIFICADA
UNIDAD: N 190	DIRECCIÓN DEL AFLORAMIENTO O TALUD	RANGOS DE VALORES	
		UCS (Mpa)	VALORACIÓN
		90-100 (20)	75-90 (17)
		>250 (15)	50-100 (7)
		<2 (20)	50-75 (13)
		<4m long. (6)	25-50 (8)
		Cerrada (6)	0,2-0,6 (3)
		Muy rugosa (6)	3-10 m (2)
		Limpia (6)	10-20 m (1)
		Sana (6)	1-5 mm (1)
		Seco (15)	0,08-0,2 (8)
			1-3 m long. (4)
			0,1-1,0 mm (4)
			Rugosa (6)
			Lija (1)
			Duro-5mm (4)
			Muy firme (1)
			Mod. Intemp. (2)
			Mojado (7)
			Goteo (4)
			RMR Básico
			55

CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR  
PONDERACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.):

### CLASE DE MACIZO ROCOSO

RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
DESCRIPCIÓN	I - MUY BUENA	II - BUENA	III - REGULAR	IV - MALA	V - MUY MALA

GRADO	INDICE DE INTemperIZACION DESCRIPCION
I	SANA Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II	LIGERO Decoloración indica intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III	MODERADA Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV	MUY INTemperIZADA Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.
V	DESCOMPUESTA Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.



FOTOGRAFÍA



# ANEXO 5. DETERMINACIÓN DE RMR EN CALIZA DOLOMÍTICA MICROCLÁSTICA

## DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR

Calculado por: MIGUEL ANGEL AGUILAR

DATOS GENERALES		UNIDAD: CALIZA DOLOMÍTICA MICROCLÁSTICA (KCO)		E 765055		Z 1261 m snm	
LUGAR: Quebrada Xol		COORDENADAS N 1701350					
DIRECCIÓN DEL AFLORAMIENTO O TALUD		OBSERVACIONES		LITOLOGÍA		GEOLOGÍA	
N 190				CALIZA		ESTRATIFICADA	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>							
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20		
DESCRIPCIÓN	I - MUY BUENA	II - BUENA	III - REGULAR	IV - MALA	V - MUY MALA		

PARÁMETROS		RANGO DE VALORES										VALORACIÓN	
UCS (Mpa)	RQD %	>50	30-50	100-250	75-90	50-75	25-50	25-50	25-50	25-50	<25	<25	<25
ESPACIAMIENTO(m)		>2	1-3 m long.	0.2-0.6	0.2-0.6	0.2-0.6	0.06-0.2	0.06-0.2	0.06-0.2	0.06-0.2	<0.06	<0.06	7
CONDICIÓN DE JUNTAS		Cerrada	<0.1mm apert.	0.1-1.0mm	0.1-1.0mm	0.1-1.0mm	1-5 mm	1-5 mm	1-5 mm	1-5 mm	>5mm	>5mm	3
PERISTENCIA		Limpia	Lig. rugosa	Rugosa	Rugosa	Rugosa	Lisa	Lisa	Lisa	Lisa	Espejode falla	Espejode falla	0
RUJGOSIDAD		Sana	Duro-<5mm	Lig. Intempe.	Duro-<5mm	Lig. Intempe.	Suave-<5mm	Suave-<5mm	Suave-<5mm	Suave-<5mm	Descompuesta	Descompuesta	1
RELENO		Saco	Humedo	Mojado	Mojado	Mojado	Gotico	Gotico	Gotico	Gotico	Flujo	Flujo	5
AGUA SUBTERRÁNEA													4
<b>RMR Básico</b>												<b>42</b>	


  

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS	UCS (M pa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquinada de la muestra con el martillo	> 250

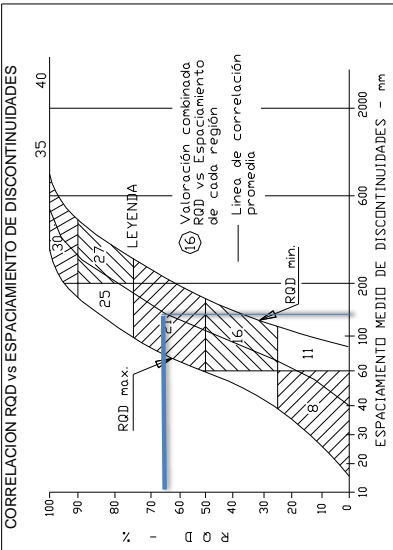
  

GRADO	INDICE DE INTEMPERIZACIÓN
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	Decoloración mediana intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEMPERIZADA	Más de la mitad del material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.
V DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.



**FOTOGRAFÍA**



**CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES**



ANEXO 6. DETERMINACIÓN DE RMR EN YESO

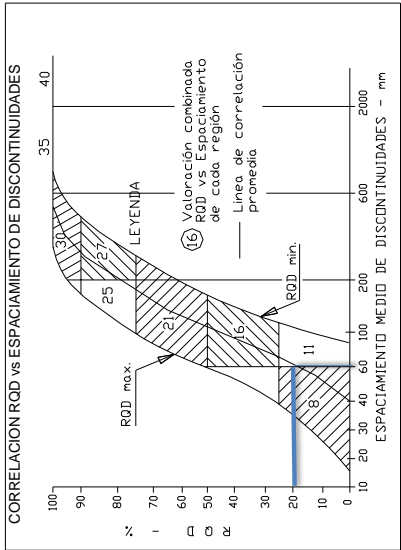
### DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR

CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR

PONDERACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

DATOS GENERALES		YESO (Kc)		OBSERVACIONES		LITOLÓGIA		GEOLOGÍA																																																																																																													
LUGAR: Carretera alterna RN-7W en finca Independencia cerca de Quebrada Xol		E 765153		Z 1323 m snm		ESTRUCTURA		BANDEAMIENTO																																																																																																													
COORDENADAS N 1701417		N 165																																																																																																																			
<h4>CLASE DE MACIZO ROCOSO</h4> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>100 - 81</td> <td>80 - 61</td> <td>60 - 41</td> <td>40 - 21</td> <td>&lt; 20</td> </tr> <tr> <td>I - MUY BUENA</td> <td>II - BUENA</td> <td>III - REGULAR</td> <td>IV - MALA</td> <td>V - MUY MALA</td> </tr> </table>										100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20	I - MUY BUENA	II - BUENA	III - REGULAR	IV - MALA	V - MUY MALA																																																																																																		
100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20																																																																																																																	
I - MUY BUENA	II - BUENA	III - REGULAR	IV - MALA	V - MUY MALA																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PARAMETROS</th> <th colspan="7">RANGO DE VALORES</th> <th>VALORACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UCS (Mpa)</td> <td>&gt;250</td> <td>150-200</td> <td>75-90</td> <td>30-50</td> <td>50-100</td> <td>10-25</td> <td>25-50</td> <td>-25(2) -5(1) -1(0)</td> </tr> <tr> <td>RQD %</td> <td>&gt;=</td> <td>75-90</td> <td>50-75</td> <td>25-50</td> <td>50-75</td> <td>25-50</td> <td>25-50</td> <td>-45 (3)</td> </tr> <tr> <td>ESPACIAMIENTO(m)</td> <td>&lt;4m long.</td> <td>4-8m long.</td> <td>8-12m long.</td> <td>12-20m long.</td> <td>20-30m long.</td> <td>30-40m long.</td> <td>40-50m long.</td> <td>-10(6) (5) (4) (3) (2) (1) (0)</td> </tr> <tr> <td>PERSISTENCIA</td> <td>Sana</td> <td>1-3m long.</td> <td>3-10m</td> <td>10-20m</td> <td>20-30m</td> <td>30-40m</td> <td>40-50m</td> <td>&gt;20m (0)</td> </tr> <tr> <td>APERTURA</td> <td>Muy rugosa</td> <td>Rugosa</td> <td>Lig. rugosa</td> <td>Lisa</td> <td>1-5mm</td> <td>5-10mm</td> <td>10-20mm</td> <td>&gt;5mm (0)</td> </tr> <tr> <td>RUGOSIDAD</td> <td>Muy rugosa</td> <td>Rugosa</td> <td>Lig. rugosa</td> <td>Lisa</td> <td>1-5mm</td> <td>5-10mm</td> <td>10-20mm</td> <td>Espejo de falla (0)</td> </tr> <tr> <td>RELLENO</td> <td>Limpia</td> <td>1-5mm</td> <td>5-10mm</td> <td>10-20mm</td> <td>20-30mm</td> <td>30-40mm</td> <td>40-50mm</td> <td>Suave &lt;5mm (0)</td> </tr> <tr> <td>INTEMPERIZMO</td> <td>Sana</td> <td>Lig. Intemper.</td> <td>Mod. Intemper.</td> <td>Muy Intemper.</td> <td>Descompuesta</td> <td></td> <td></td> <td>Descompuesta (0)</td> </tr> <tr> <td>AGUA SUBTERRÁNEA</td> <td>Seco</td> <td>Humedo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Flujo (0)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>RMR Básico</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>										PARAMETROS	RANGO DE VALORES							VALORACION	UCS (Mpa)	>250	150-200	75-90	30-50	50-100	10-25	25-50	-25(2) -5(1) -1(0)	RQD %	>=	75-90	50-75	25-50	50-75	25-50	25-50	-45 (3)	ESPACIAMIENTO(m)	<4m long.	4-8m long.	8-12m long.	12-20m long.	20-30m long.	30-40m long.	40-50m long.	-10(6) (5) (4) (3) (2) (1) (0)	PERSISTENCIA	Sana	1-3m long.	3-10m	10-20m	20-30m	30-40m	40-50m	>20m (0)	APERTURA	Muy rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Lisa	1-5mm	5-10mm	10-20mm	>5mm (0)	RUGOSIDAD	Muy rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Lisa	1-5mm	5-10mm	10-20mm	Espejo de falla (0)	RELLENO	Limpia	1-5mm	5-10mm	10-20mm	20-30mm	30-40mm	40-50mm	Suave <5mm (0)	INTEMPERIZMO	Sana	Lig. Intemper.	Mod. Intemper.	Muy Intemper.	Descompuesta			Descompuesta (0)	AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	Humedo						Flujo (0)									RMR Básico									25
PARAMETROS	RANGO DE VALORES							VALORACION																																																																																																													
UCS (Mpa)	>250	150-200	75-90	30-50	50-100	10-25	25-50	-25(2) -5(1) -1(0)																																																																																																													
RQD %	>=	75-90	50-75	25-50	50-75	25-50	25-50	-45 (3)																																																																																																													
ESPACIAMIENTO(m)	<4m long.	4-8m long.	8-12m long.	12-20m long.	20-30m long.	30-40m long.	40-50m long.	-10(6) (5) (4) (3) (2) (1) (0)																																																																																																													
PERSISTENCIA	Sana	1-3m long.	3-10m	10-20m	20-30m	30-40m	40-50m	>20m (0)																																																																																																													
APERTURA	Muy rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Lisa	1-5mm	5-10mm	10-20mm	>5mm (0)																																																																																																													
RUGOSIDAD	Muy rugosa	Rugosa	Lig. rugosa	Lisa	1-5mm	5-10mm	10-20mm	Espejo de falla (0)																																																																																																													
RELLENO	Limpia	1-5mm	5-10mm	10-20mm	20-30mm	30-40mm	40-50mm	Suave <5mm (0)																																																																																																													
INTEMPERIZMO	Sana	Lig. Intemper.	Mod. Intemper.	Muy Intemper.	Descompuesta			Descompuesta (0)																																																																																																													
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	Humedo						Flujo (0)																																																																																																													
								RMR Básico																																																																																																													
								25																																																																																																													

GRADO	ÍNDICE DE INTEMPERIZACIÓN DESCRIPCIÓN
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	Decoloración mínima e intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso decolorado extensamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV MUY INTEMPERIZADA	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.
V DESCOM PUESTA	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.



FOTOGRAFIA



GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS	UCS (Mpa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desmorona con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desmorona con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desmorona con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo	> 250

# ANEXO 7. DETERMINACIÓN DE RMR EN LUTITA CALCAREA

## DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR

CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR


PONDERACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)

DATOS GENERALES		GEOLOGÍA	
LUGAR: Carretera alterna RN-7W rumbo a finca Independencia		LITOLOGÍA	
COORDENADAS N 1701450 E 765471 Z 1458 msnm		CALIZA	
UNIDAD: LUTITA CALCAREA (KC6)		ESTRATIFICADA	
DIRECCIÓN DEL AFLORAMIENTO O TALUD		ESTRUCTURA	
N 205		E	
<b>CLASE DE MACIZO ROCOSO</b>			
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41
DESCRIPCIÓN	I - MUY BUENA	II - BUENA	III - REGULAR
			IV - MALA
			V - MUY MALA

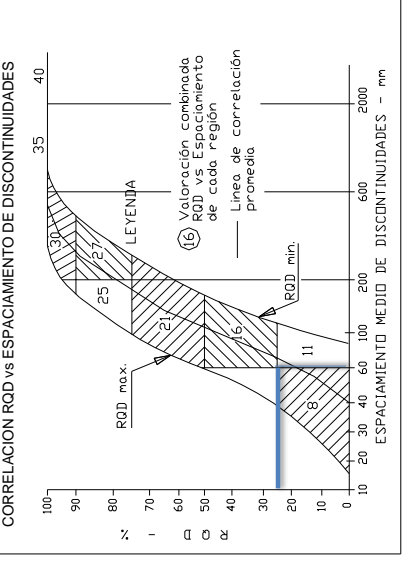
PARAMETROS	RANGO DE VALORES										VALORACIÓN	
UCS (Mpa)	>250	150-200	75-90	50-75	25-50	10-25	5-10	2-5	<2	<(1)	<(0)	4
ROD %	>20	15-20	10-15	5-10	2-5	1-3	0.5-1	0.2-0.5	0.1-0.2	0.05-0.1	0	3
ESPACIAMIENTO (m)	<4m long.	4-8m	8-15m	15-30m	30-60m	60-100m	100-200m	>200m	>20m	>5m	>5mm	0
CONDICIÓN DE JUNTAS	Cerrada	Muy rugosa	Limpia	Sana	Seco	Húmedo	Mojado	Coteo	Flujo			15
AGUA SUBTERRANEA												38

GRADO	DESCRIPCIÓN	INDICE DE INTemperización
I	SANA	Ningun signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.
II	LEGERO	Decoloración indica intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III	MODERADA	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV	MUY INTemperizada	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discont como núcleo rocoso.
V	DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS	UCS (Mpa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desmorona con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desmorona con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desmorona con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250



**FOTOGRAFIA**



**CORRELACION ROD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES**

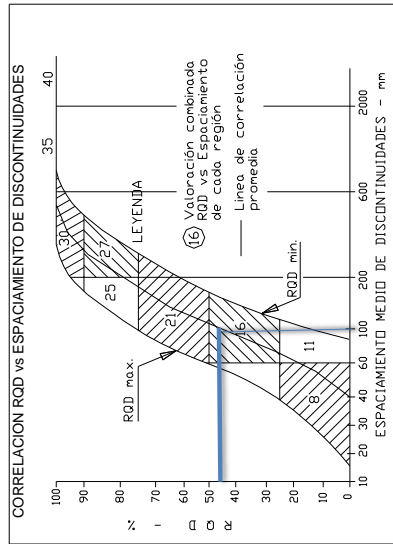
El gráfico muestra la relación entre el Índice de Descontinuidades (RQD) y el Espaciamiento Medio de Discontinuidades (mm). La curva superior indica el RQD máximo (RQD max.) y la curva inferior indica el RQD mínimo (RQD min.). Se muestra una línea de correlación promedio y una valoración combinada de RQD vs. Espaciamiento de cada región. El eje horizontal (Espaciamiento) va de 0 a 2000 mm, y el eje vertical (RQD) va de 0 a 100%.

# ANEXO 8. DETERMINACIÓN DE RMR EN CALIZA Y LUTITA CALCOARENOSA

DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR					
<b>CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR</b>					
<b>PONDERACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)</b>					
DATOS GENERALES		RANGO DE VALORES			
LUGAR: Carretera RN7W	E 765421	Z 1483 m s nm			
COORDENADAS N 1701432					
UNIDAD: CALIZA Y LUTITA CALCOARENOSA (KCO)	GEOLOGÍA				
DIRECCIÓN DEL FLORAMIENTO TALUD N 90	ESTRUCTURA ESTRATIFICADA				
	LITOLOGÍA CALIZA				
	OBSERVACIONES				
	CLASE DE MACIZO ROCOSO				
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
DESCRIPCIÓN	I- MUY BUENA	II- BUENA	III- REGULAR	IV- MALA	V- MUY MALA

GRADO	ÍNDICE DE TEMPERIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
I	SANA	Ningun signo de intemperismo en el material rocoso. Quizas ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II	LIGERO	Decoloración indica intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.
III	MODERADA	Menos de la mitad del material rocoso está descolorido y/o desintegrado a un suelo la roca sana o descolorida se presenta como un marco continuo o como núcleos rocosos.
IV	MUY TEMPERIZADA	Más de la mitad del material rocoso está descolorido y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o descolorida se presenta como un marco discontinuo como núcleos rocosos.
V	DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso está descolorido y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS	UCS (Mpa)
R1	Delanable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desmorona con una cuchilla	1.0 - 5.0
R2	Se desmorona con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desmorona con cuchilla. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo	> 250



FOTOGRAFÍA



RMR Básico 40

# ANEXO 9. DETERMINACIÓN DE RMR EN CALIZA DOLOMÍTICA FOSILÍFERA

## DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR

CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR

DATOS GENERALES		Ponderación del Macizo Rocoso (R.M.R.)	
Lugar: Anfiteatro del deslizamiento Los Chorros		RANGO DE VALORES	
COORDENADAS N: 1701986	Z: 1504 m snm	50-100 (7)	25-50 (4)
UNIDAD: CALIZA DOLOMÍTICA FOSILÍFERA (KCO)	E: 764787	50-75 (6)	25-50 (8)
DIRECCIÓN DEL AFLORAMIENTO TALUD: N80	OBSERVACIONES:	0,6-2 (15)	0,06-0,2 (8)
LITOLOGÍA: CALIZA	ESTRATIFICADA	1-3 m long. (4)	10-20 m (1)
GEOLOGÍA: ESTRUCTURA		0,1-1,0 mm (4)	1-5 mm (1)
ESTRATIFICADA		Lig. rugosa (3)	Espejo de falla (0)
		Duro < 5 mm (4)	Suave < 5 mm (0)
		Lig. Intemp. (5)	Descompuesta (0)
		Humedo (10)	Flujo (0)
		Mojado (7)	Gaseo (4)
			<b>RMR Básico</b>
			<b>36</b>

CLASE DE MACIZO ROCOSO	
RMR	100 - 81   80 - 61   60 - 41   40 - 21   < 20
DESCRIPCIÓN	I - MUY BUENA   II - BUENA   III - REGULAR   IV - MALA   V - MUY MALA

GRADO	ÍNDICE DE INTemperización DESCRIPCIÓN	UCS (Mpa)
R1	Deleznable con golpes firmes en el material rocoso. Quizás ligera descoloración sobre superficies de discontinuidades principales	1,0 - 5,0
R2	Decoloración intensa del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.	5 - 25
R3	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.	25 - 50
R4	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.	50 - 100
R5	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.	100 - 250
R6		> 250

FOTOGRAFÍA

CORRELACION RQD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

ESPACIAMIENTO MEDIO DE DISCONTINUIDADES - mm

LAS CONDICIONES DEL ESCARPE EN EL ANFITEATRO DEL DESLIZAMIENTO IMPIDEN LA TOMA DE FOTOGRAFÍA

# ANEXO 10. DETERMINACIÓN DE RMR EN CALIZA CRISTALINA

## DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR

**DATOS GENERALES**  
 Lugar: Anfiteatro del deslizamiento Los Chorrros  
 COORDENADAS N 1702002 E 764775 Z 1560 msnm  
 UNIDAD: CALIZA CRISTALINA (Kc)  
 DIRECCIÓN DEL AFORRAMIENTO O TALUD: N80 OBSERVACIONES:  
 GEOLOGÍA: CALIZA ESTRUCTURA: ESTRATIFICADA  
 LITOLOGÍA: CALIZA  
 RMR: 100 - 81 80 - 61 60 - 41 40 - 21 < 20  
 DESCRIPCIÓN: I- MUY BUENA II- BUENA III- REGULAR IV- MALA V- MUY MALA

**CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR**  
**PONDERACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)**

RANGO DE VALORES		25-50 (4)	25-50 (8)	25-50 (12)	25-50 (16)	25-50 (20)	25-50 (24)	25-50 (28)	25-50 (32)	25-50 (36)	25-50 (40)	25-50 (44)	25-50 (48)	25-50 (52)	25-50 (56)	25-50 (60)	25-50 (64)	25-50 (68)	25-50 (72)	25-50 (76)	25-50 (80)	25-50 (84)	25-50 (88)	25-50 (92)	25-50 (96)	25-50 (100)		
UCS (Mpa)		90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)	90-100 (20)		
ESPAJAMIENTO (m)		<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
CONDICIÓN DE APERTURA DE RIGIDEZ		<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm	<1mm
JUNTAS		Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia	Limpia
INTEMPERIZADO		Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
AGUA SUBTERRÁNEA		Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco	Seco

### CLASE DE MACIZO ROCOSO

GRADO	ÍNDICE DE INTEMPERIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
I	SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera descoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II	LIGERO	Decoloración indica intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso decolorado extremadamente es más débil que en su condición sana.
III	MODERADA	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo la roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.
IV	MUY INTEMPERIZADA	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo o como núcleo rocoso.
V	DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aun se conserva intacta.

GRADO	ÍNDICE DE RESISTENCIAS	UCS (Mpa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo o se desmorona con una cuchilla	1,0 - 5,0
R2	Se desmorona con el puntal con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme de martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desmorona con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme de martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe de martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquinas de la muestra con el martillo	> 250

### FOTOGRAFÍA

**CORRELACION RQD vs ESPAJAMIENTO DE DISCONTINUIDADES**

Valoración combinada RQD vs Espajamiento de cada región

Linea de correlación promedio

RQD máx

RQD mín

ESPAJAMIENTO MEDIO DE DISCONTINUIDADES - mm

**LAS CONDICIONES DEL ESCARPE EN EL ANFITEATRO DEL DESLIZAMIENTO IMPIDEN LA TOMA DE FOTOGRAFÍA**

## ANEXO 11. DETERMINACIÓN DE RMR EN CALIZA ARRECIFAL

DETERMINACIÓN DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO SEGÚN BIENIAWSKI 1989, RMR									
CALCULADO POR: MIGUEL ANGEL AGUILAR									
PONDERACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
DATOS GENERALES					PARAMETROS				
LUGAR: Carretera rural de San Cristobal Verapaz a aldea Las Pacayas					UCS (Mpa)				
COORDENADAS N 1703365 E 765953 Z 2105 msnm					ROD %				
UNIDAD: CALIZA CRISTALINA (Kco)					ESPACIAMIENTO (m)				
DIRECCIÓN DEL AFLORAMIENTO TALUD OBSERVACIONES					CONDICIÓN DE PERSISTENCIA				
N 170					ESTRATIFICADA				
LITOLOGÍA CALIZA					APERTURA				
GEOLOGÍA					RUGOSIDAD				
E 765953					RELLENO				
Z 2105 msnm					INTENPERIZMO				
CLASE DE MACIZO ROCOSO					AGUA SUBTERRÁNEA				
DESCRIPCIÓN					R.M.R. Básico				
I-MUYBUENA II-BUENA III-REGULAR IV-MALA V-MUYMALA					57				
RMR					7				
100 - 81					17				
80 - 61					10				
60 - 41					1				
40 - 21					1				
< 20					5				
I-MUYBUENA II-BUENA III-REGULAR IV-MALA V-MUYMALA					5				
I-MUYBUENA II-BUENA III-REGULAR IV-MALA V-MUYMALA					7				


  

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS	UCS (Mpa)
R1	Deleznable con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desconcha con una cubilla	1.0 - 5.0
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)	5 - 25
R3	No se raya ni desconcha con cuchillo. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25 - 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 - 100
R5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100 - 250
R6	Solo se rompe esquivando a la muestra con el martillo	> 250

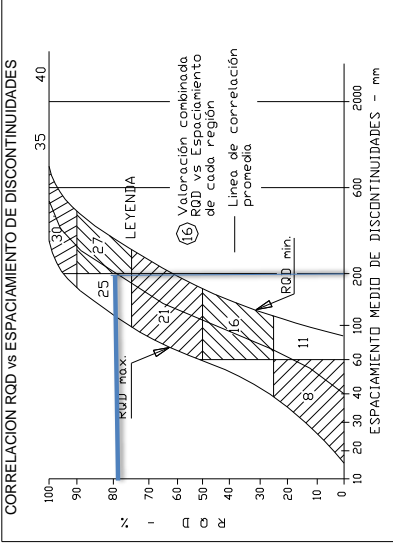
  

GRADO	INDICE DE INTENPERIZACIÓN
I SANA	Ningún signo de intemperismo en el material rocoso. Quizás ligera descoloración sobre superficies de discontinuidades principales
II LIGERO	Descoloración intemperismo del material rocoso y superficies de discontinuidades. El material rocoso descolorido extremadamente es más débil que en su condición sana.
III MODERADA	La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleos rocosos.
IV MUY INTENPERIZADA	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco discontinuo como núcleo rocoso.
V DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.

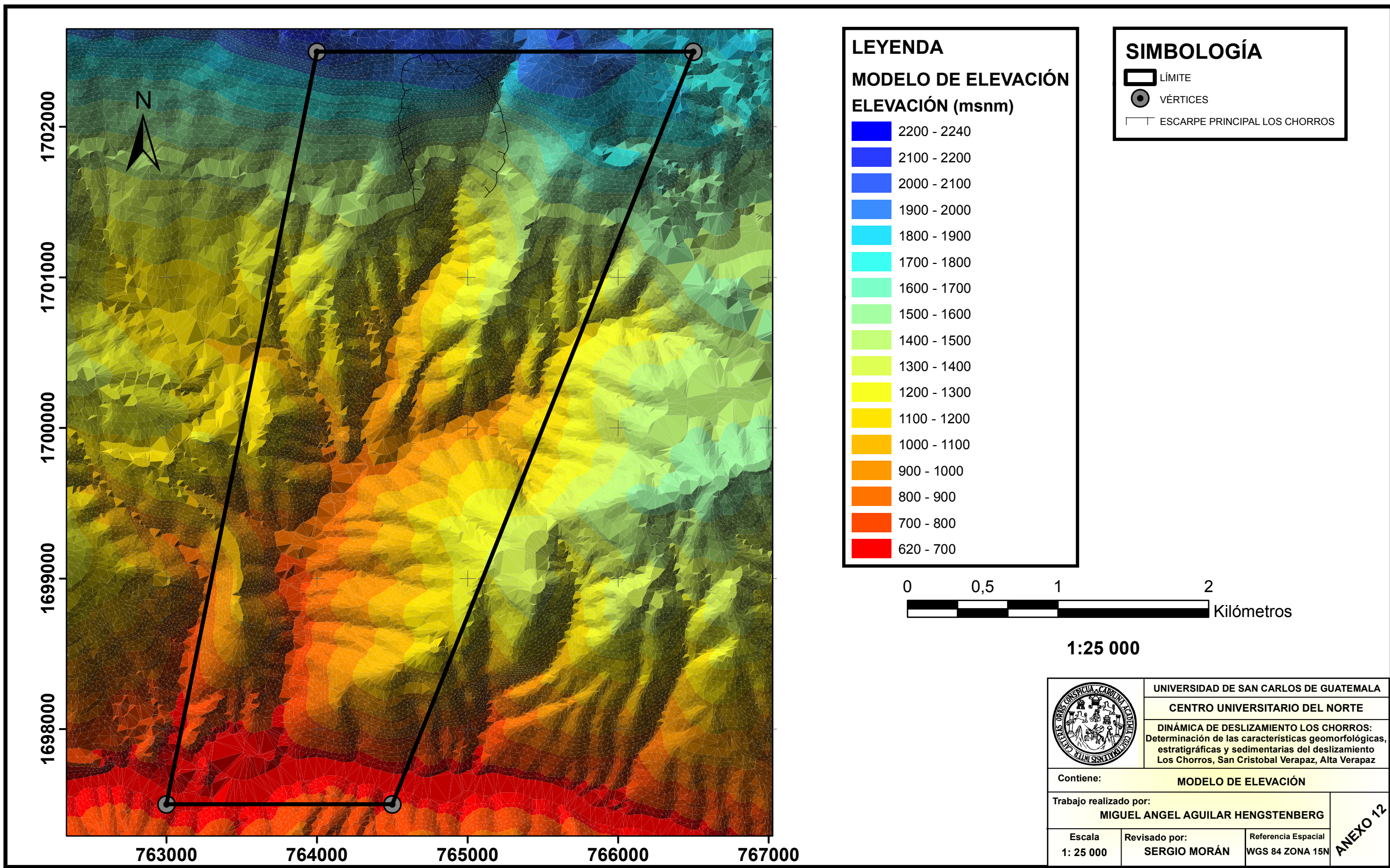


**FOTOGRAFÍA**

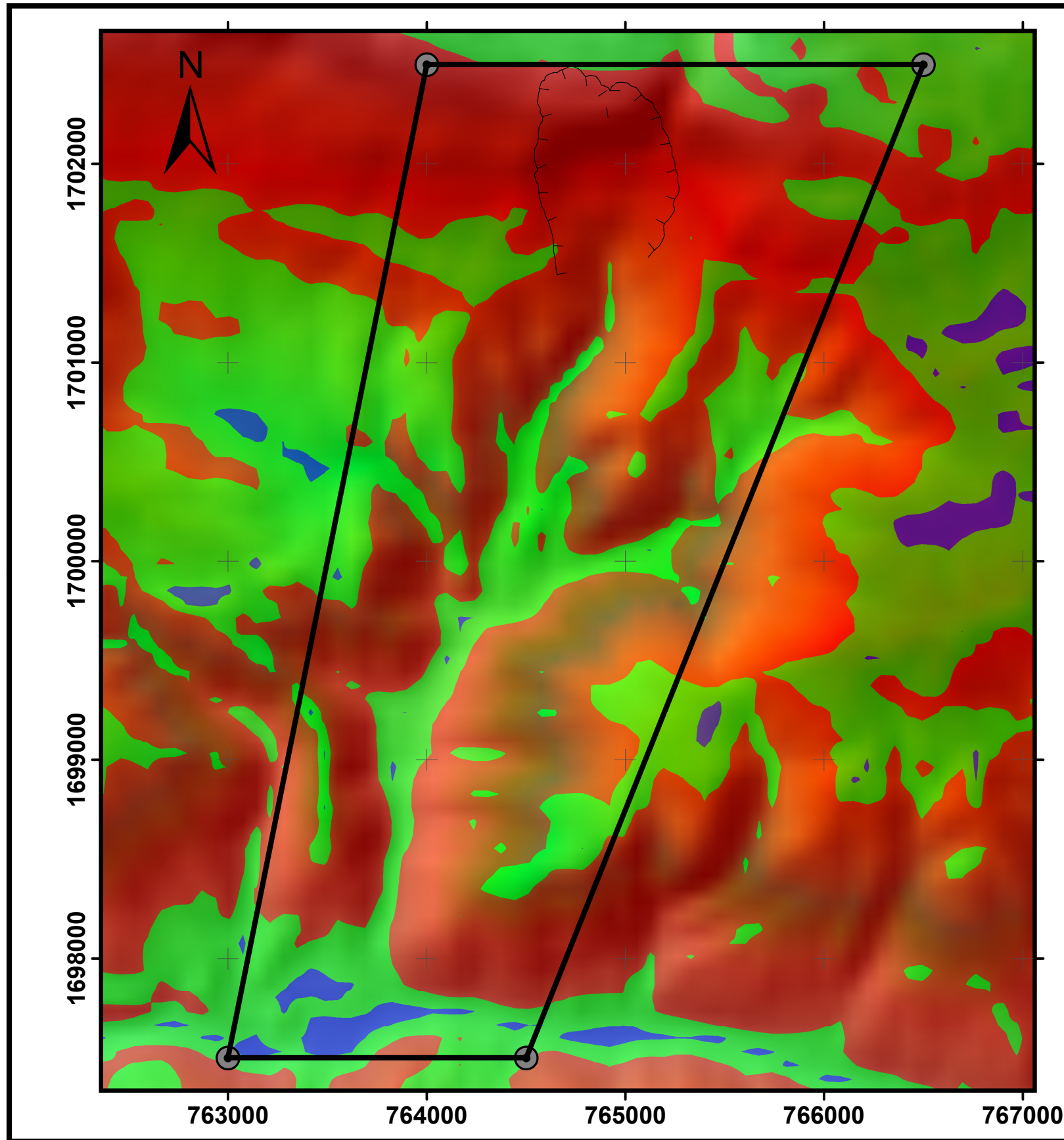


**CORRELACION ROD vs ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES**












**SIMBOLOGÍA**

-  LÍMITE
-  VÉRTICES
-  ESCARPE PRINCIPAL LOS CHORROS

**LEYENDA**

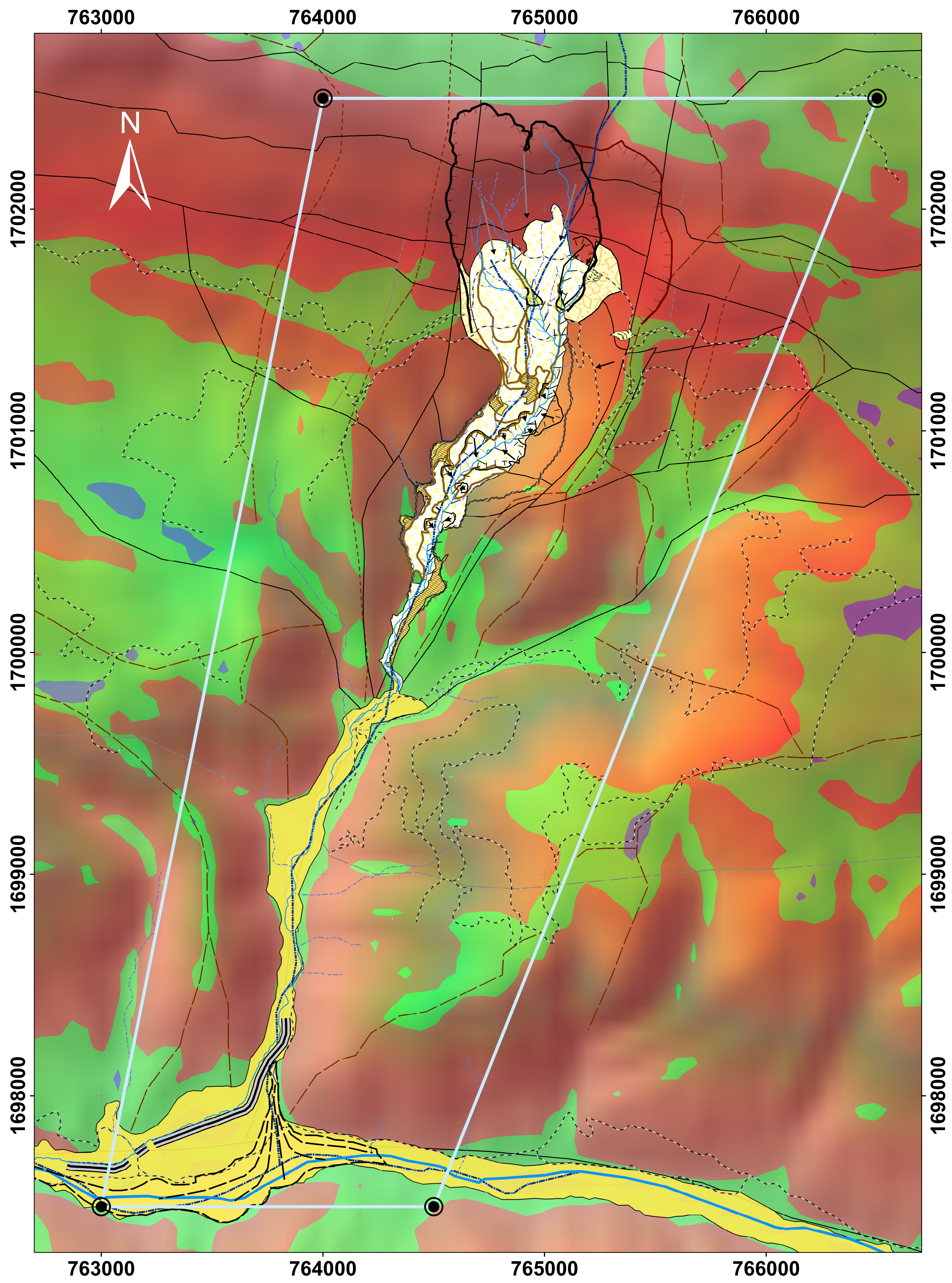
**PENDIENTES RANGO PORCENTUAL**

-  < 10 %
-  10 % - 40 %
-  > 40 %



**1:25 000**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
	CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE	
DINÁMICA DE DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: Determinación de las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, San Cristobal Verapaz, Alta Verapaz		
Contiene:		MAPA DE PENDIENTES
Trabajo realizado por: MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG		
Escala 1: 25 000	Revisado por: SERGIO MORÁN	Referencia Espacial WGS 84 ZONA 15N
		<b>ANEXO 13</b>

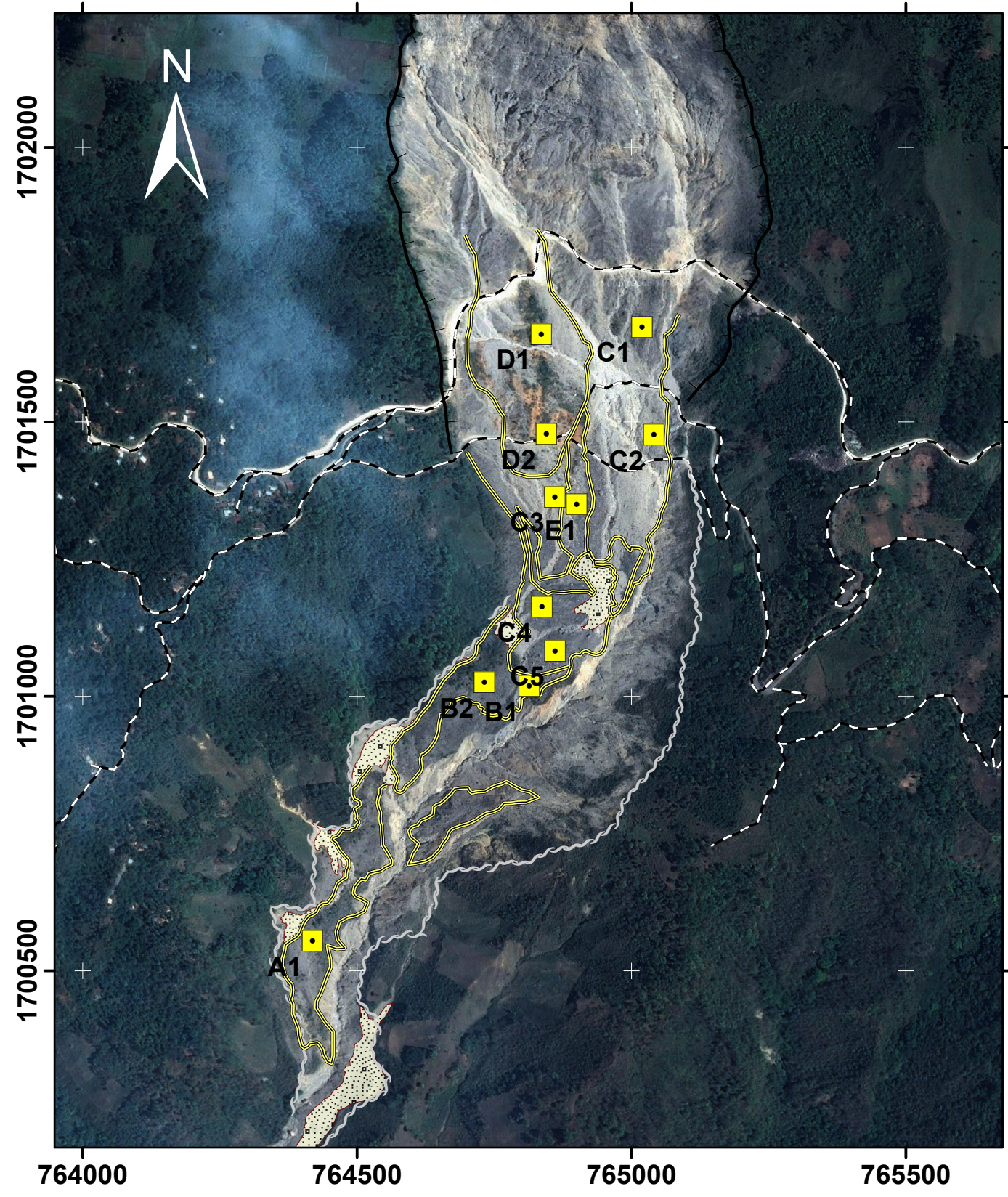


0 0.5 1 2 Kilómetros

1:10 000

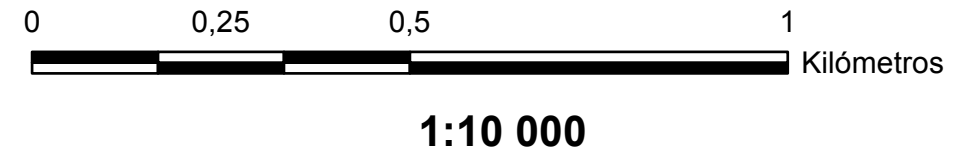
<p><b>UNIDAD DEGRADACIONAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ESCARPE LOS CHORROS</li> <li>ESCARPE POST DESLIZAMIENTO</li> <li>QUEBRADAS PERMANENTES</li> <li>QUEBRADAS EFÍMERAS</li> <li>VALLES JUVENILES</li> <li>RÍO CHIXOY</li> <li>PALEOCAUSES</li> <li>ESCARPE PRE DESLIZAMIENTO</li> </ul> <p><b>MAPA DE PENDIENTES (%) Y RELIEVE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt; 10 %</li> <li>10 % - 40 %</li> <li>&gt; 40 %</li> </ul>	<p><b>UNIDAD AGRADACIONAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ABANICO DEL DESLIZAMIENTO</li> <li>LÓBULOS</li> <li>TERRAZAS</li> <li>ALUVIONES</li> <li>MATERIAL DE DESLIZAMIENTO</li> <li>FLUJOS DE LODO</li> <li>COLUVIÓN PRE DESLIZAMIENTO</li> </ul>	<p><b>UNIDAD ESTRUCTURAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS</li> <li>PARTE AGUAS</li> <li>LINEAMIENTO</li> </ul>	<p><b>UNIDAD ANTROPICA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>VERTEDERO DE BASURA</li> <li>CANAL ANTRÓPICO</li> <li>RUTAS</li> </ul>	<p><b>SIMBOLOGIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>VÉRTICES</li> <li>LÍMITE</li> <li>DIRECCIÓN DE DESLIZAMIENTO</li> <li>EVENTOS POST DESLIZAMIENTO</li> <li>LÍMITE DE CONFINAMIENTO</li> </ul>
--	--	---	--	--

		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
		CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE	
DINÁMICA DE DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: Determinación de las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz			
Contiene:		MAPA GEOMORFOLÓGICO	
Trabajo realizado por:			
Escala		Revisado por:	Referencia Espacial
1: 10 000		SERGIO MORÁN	WGS 84 ZONA 15N
			ANEXO 14

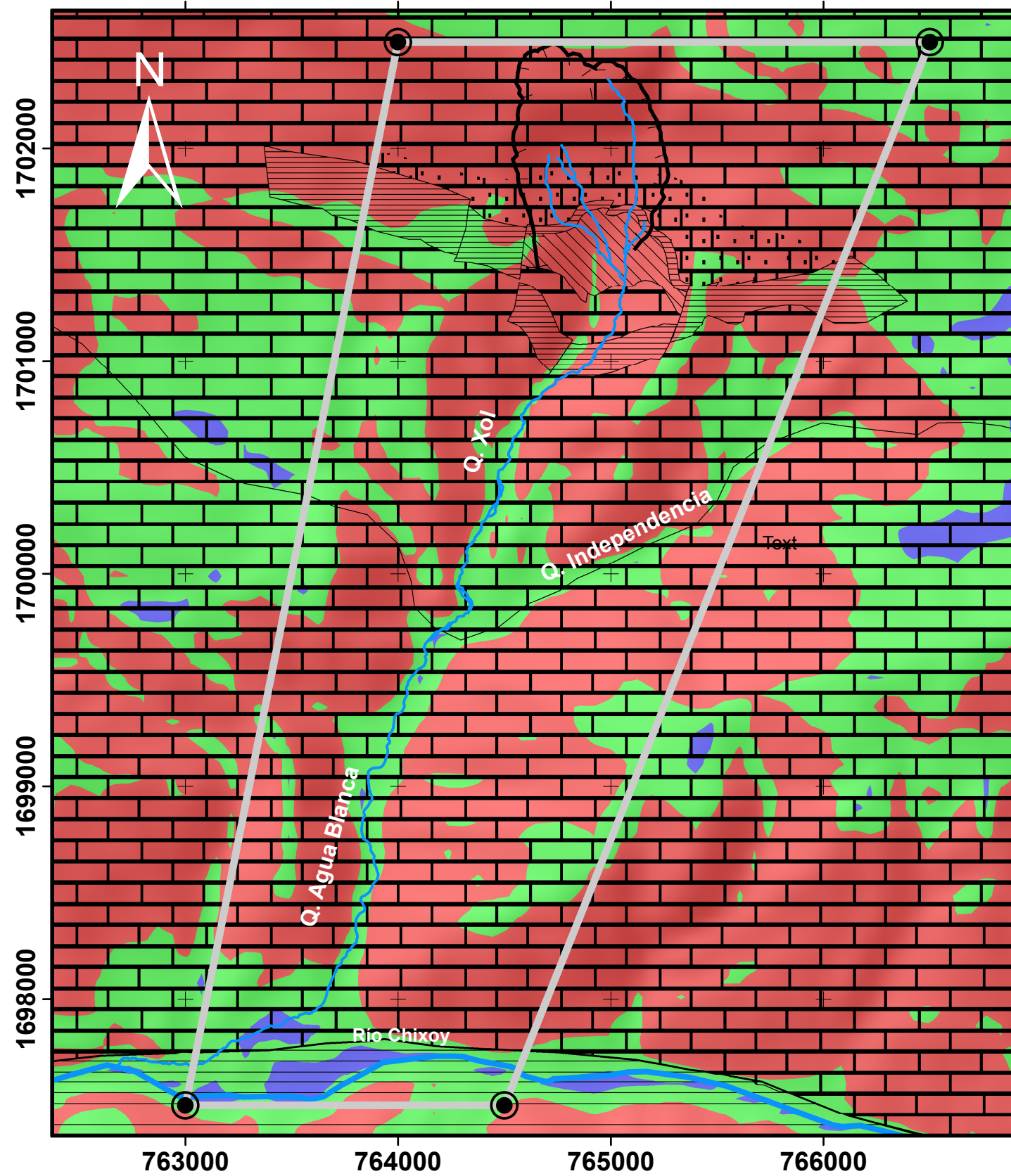


### SIMBOLOGIA

- PUNTO DE CONTEO SISTEMÁTICO DE CLASTOS
- LÓBULOS
- LÍMITE DE CONFINAMIENTO
- ESCARPE LOS CHORROS
- RUTAS



	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
	CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE	
DINÁMICA DE DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: Determinación de las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz		
Contiene: <b>CONTEO SISTEMÁTICO DE CLASTOS</b>		
Trabajo realizado por: <b>MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG</b>		
Escala 1: 10 000	Revisado por: <b>SERGIO MORÁN</b>	Referencia Espacial WGS 84 ZONA 15N
		ANEXO 15



**SIMBOLOGÍA**

- VÉRTICES
- ▬ ESCARPE LOS CHORROS
- ▭ LÍMITE
- QUEBRADAS PERMANENTES
- RÍO CHIXOY

**LEYENDA**

- ▨ LUTITA CALCAREA
- ▧ YESO
- ▩ CALIZA
- LUTITA PIZARROSA

**MAPA DE PENDIENTES (%)**

- < 10 %
- 10 % - 40 %
- > 40 %



**1:25 000**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
	CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE	
DINÁMICA DE DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: Determinación de las características geomorfológicas, estratigráficas y sedimentarias del deslizamiento Los Chorros, San Cristobal Verapaz, Alta Verapaz		
Contiene: MAPA DE RIESGO: LITOLOGÍA VERSUS PENDIENTES		
Trabajo realizado por: MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG		
Escala 1: 25 000	Revisado por: SERGIO MORÁN	Referencia Espacial WGS 84 ZONA 15N
		<b>ANEXO 16</b>

**USAC  
CUNOR**

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro Universitario del Norte



No. 006-2018

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer los dictámenes de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

**INGENIERO GEÓLOGO**

Al trabajo titulado:

**DINÁMICA DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS, ESTRATIGRÁFICAS Y SEDIMENTARIAS DEL DESLIZAMIENTO LOS CHORROS, SAN CRISTÓBAL VERAPAZ, ALTA VERAPAZ**

Presentado por el (la) estudiante:

**MIGUEL ANGEL AGUILAR HENGSTENBERG**

Autoriza el

**IMPRIMASE**

Cobán, Alta Verapaz 10 de Enero de 2018

Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
DIRECTOR

